



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**DESIGN VENKOVNÍHO NÁBYTKU Z POLYMERNÍHO  
BETONU**

DESIGN OF OUTDOOR FURNITURE FROM POLYMER CONCRETE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Alena Petlachová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Martin Krčma**

**BRNO 2021**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Studentka: **Alena Petlachová**  
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství  
Studijní obor: Průmyslový design ve strojírenství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Krčma**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Design venkovního nábytku z polymerního betonu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Technologie Polybet umožňuje zpracování odpadních materiálů na výrobky s přidanou hodnotou. Materiál je vhodný na použití do exteriéru díky jeho odolnosti vůči vlivům počasí, a i s ohledem na jeho hrubý povrch. Navržené objekty by měly sloužit pro prezentaci výhod materiálu a možností technologie.

Typ práce: vývojová – designérská

### Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je navrhnout sadu, (tj. min 2 kusy) nábytku na venkovní použití, který je vhodný k robotické výrobě z polybetu.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikace vhodných výrobků s ohledem na materiálové vlastnosti,
- návrh produktů v souladu s technologickými omezeními,
- zpracování digitálních modelů pro výrobu.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

FIELL, Charlotte a Peter FIELL, ed. Designing the 21st century. Köln: Taschen, 2005. ISBN 3-822-4802-6.

THOMPSON, Rob a Young-Yun KIM. Product and furniture design. London: Thames & Hudson, 2011. The manufacturing guides. ISBN 978-0-500-28919-8.

VIA ALTA, Polybet. Online, 2016. <http://www.via-alta.cz/polybet/>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tématem práce je navržení designu setu zahradního nábytku vyrobeného pomocí robotického 3D tisku z materiálu Polybet. Polybet je moderní materiál tvořený pojivem z recyklovaných termoplastů a plnivem z rozdrčeného odpadního skla nebo jiných materiálů. Hlavní problémy řešené v projektu jsou výrobitelnost metodou 3D tisku a ergonomičnost nábytku. Na základě designérské a technické analýzy byla navržena první varianta, která byla dále podle výsledků ergonomických studií upravena do finální podoby. Set se skládá ze dvou typů laviček. Prvním je lavička s opěradlem určená k sezení nebo k ležení a druhým je lavička bez opěradla určená k sezení většího počtu osob. Lavička s opěradlem nabízí možnost zrcadlově otočeného stejného tvaru a tím navýšení počtu kusů setu na tři. Všechny kusy jsou výrobitelné a splňují základní požadavky na ergonomii.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Polybet, robotický 3D tisk, zahradní nábytek, lavička

## ABSTRACT

The topic of this thesis is to design a set of garden furniture made by robotic 3D printing technology from the Polybet material. Polybet is a modern material consisting of a binder made from recycled thermoplastics and a filler made from crushed waste glass or other materials. The main challenges of the project are the manufacturability by 3D printing method and the ergonomics of the furniture. Based on a design and technical analysis, the first version has been designed and has been further modified into the final form according to the results of the ergonomic studies. The set consists of two types of benches. First one is bench with a backrest designed for sitting or lying down and the second one is bench without a backrest designed for seating a larger number of people. The bench with a backrest offers the possibility of mirroring the same shape and thus increasing the number of pieces in the set to three. All the pieces are manufacturable and they do meet the basic ergonomic requirements.

## KEYWORDS

Polybet, roboic 3D printing, garden furniture, bench



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETLACHOVÁ, Alena. *Design venkovního nábytku z polymerního betonu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133008>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Martin Krčma.





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Martinovi Krčmovi za cenné rady a ochotu po celou dobu práce.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, pod odborným vedením Ing. Martina Krčmy. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpala, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>16</b>
2.1	Designérská analýza	16
2.1.1	Produkty na trhu	17
2.2	Technická analýza	26
2.2.1	Materiály	27
2.2.2	3D tisk	28
2.2.3	Omezení 3D tisku metodou FFF	30
2.2.4	Robot KUKA	31
2.2.5	Extrudér (tisková hlava)	32
2.2.6	Postup přípravy dat k tisku	33
2.2.7	Závěr	33
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>34</b>
3.1	Analýza problému	34
3.2	Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše	34
3.3	Cíle práce	35
3.4	Cílová skupina	35
3.5	Základní parametry a legislativní omezení	35
3.6	Použité výrobní technologie, možný trh a cena	36
<b>4</b>	<b>VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU</b>	<b>37</b>
4.1	Varianta 1	37
4.2	Varianta 2	38
4.3	Varianta 3	39
4.4	Výběr finální varianty	40
<b>5</b>	<b>TVAROVÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>41</b>
5.1	Základní produkt – lavička s opěradlem	41
5.1.1	Členění	41
5.1.2	Tvarové řešení lavičky s opěradlem	42
5.1.3	Tvarové řešení lavičky bez opěradla	44
5.1.4	Struktura povrchu	45

<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>47</b>
6.1	Popis	47
6.2	Rozměrové řešení	47
6.3	Vnitřní mechanismy a komponenty	49
6.4	Materiálové řešení	50
6.5	Technologie	50
6.6	Ergonomie	53
6.6.1	Ergonomie lavičky s opěradlem	53
6.6.2	Ergonomie lavičky bez opěradla	55
6.7	Bezpečnost a hygiena	55
6.8	Udržitelnost	56
<b>7</b>	<b>BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>57</b>
7.1	Barevná varianta 1	57
7.2	Barevná varianta 2	58
7.3	Barevná varianta 3	58
7.4	Logo výrobku	59
<b>8</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>60</b>
8.1	Psychologická funkce	60
8.2	Sociální funkce	60
8.3	Ekonomická funkce	61
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>65</b>
11.1	Použité zkratky	65
11.2	Použité veličiny	65
11.3	Použité symboly	65
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>66</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>68</b>





# 1 ÚVOD

Technologie se stále vyvíjí a nabízí nám nové možnosti výroby a zpracování materiálů. Jednou z nich je i technologie 3D tisku, která zaznamenala během posledních dvaceti let obrovský růst. Malá 3D tiskárna se stává čím dál častěji součástí běžných domácností a vybavením škol i jiných vzdělávacích institucí. Větší předměty se pak tisknou pomocí robotického ramene, na němž je umístěn extrudér. Tímto způsobem se dá zpracovat i Polybet, materiál sestávající z recyklovaných termoplastů a plniv, jako je například sklo nebo písek.

Předmětem této práce je navrhnout design setu venkovního nábytku z Polybetu, vyrobený robotickým 3D tiskem. Právě díky tomuto způsobu výroby je výrazně omezená velikost i tvarování nábytku tak, aby byly všechny kusy vyrobitelné.

Polybet nabízí možnost znovu použít jinak těžko recyklovatelné odpady, které za jiných okolností končí na skládce. Materiál je velmi odolný a dokáže dlouhodobě vzdorovat venkovním vlivům, proto je ideální pro výrobu venkovního nábytku. Z těchto důvodů je to ekologicky i ekonomicky výhodná volba.

Motivací této práce je zdůraznit důležitost ekologie a recyklace odpadů a vytvořit něco praktického, funkčního a dlouhotrvajícího. Dalším cílem je zpopularizovat technologii 3D tisku i mezi naprostými laiky a ukázat její přednosti.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V současné době existuje nepřehledné množství typů a tvarů nábytku ze všech možných materiálů vyrobeného použitím nepřehledného množství technologií. Tato kapitola se vzhledem k tématu práce zaměří zejména na nábytek vyrobený pomocí 3D tisku z betonu, nebo plastu a na samotný princip použité technologie.

### 2.1 Designérská analýza

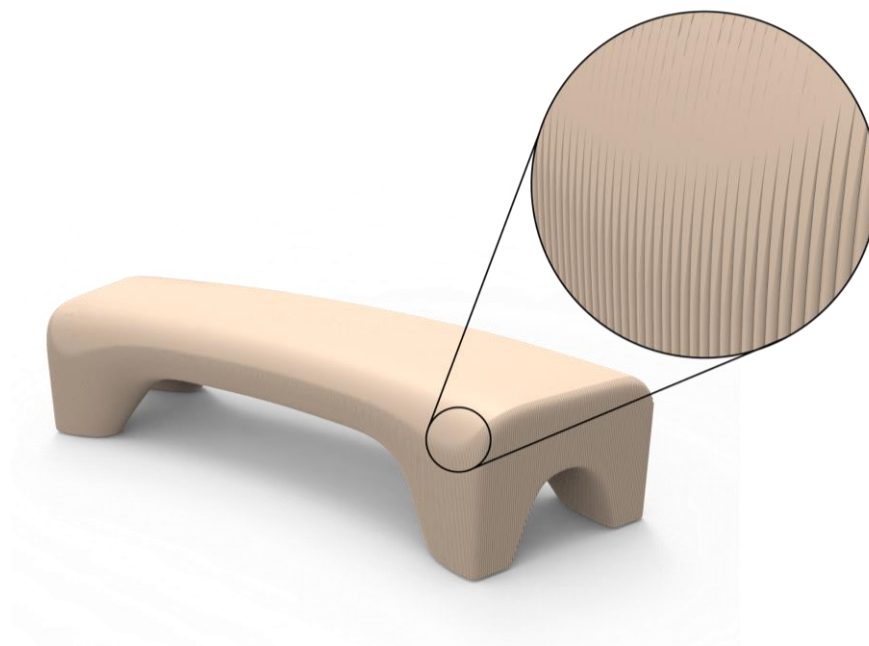
Výroba venkovního nábytku z Polybetu pomocí 3D tisku je naprostá novinka a potřebná technologie se stále vyvíjí a zdokonaluje. Materiál je velmi odolný, ale přitom poměrně lehký a dá se dobarvit podle potřeby na řadu odstínů.

Menší nevýhodou využití 3D tisku jsou hrubé tiskové linie, které zůstávají na povrchu a v kombinaci s poměrně hrubou strukturou materiálu by mohly při kontaktu s kůží způsobovat nepříjemný pocit. (viz. obr. 2-1). Řešením je zbroušení problematických ploch do hladka (viz. obr. 2-2).



**Obr. 2-1** Předmět z Polybetu vyrobený pomocí 3D tisku s viditelnou strukturou povrchu.





**Obr. 2-2** Lavička bez opěradla s detailem na zbroušenou plochu sedáku.

Technologie aditivní výroby se stále vyvíjí a objevují se tak nové možnosti designu produktů. Její největší nevýhodou může být vysoká časová náročnost a pevný směr výroby produktu při využití klasického tříosého tisku. Tyto problémy řeší využití víceosého tisku, který umožňuje přizpůsobení směru výroby. Tato metoda může výrazně zkrátit čas výroby, protože není zapotřebí tisknutí podpor. Pro zjednodušení procesu navrhování je tato práce omezena pouze na využití tříosého tisku.[1]

Jelikož žádný nábytek pomocí technologie Polybet dosud nebyl vyroben, v designérské analýze jsou uvedeny příbuzné produkty vyrobené pomocí 3D tisku z konvenčního betonu nebo z plastu.

### 2.1.1 Produkty na trhu

#### Woven concrete furniture

Jedná se o sérii tří betonových laviček z dílny XtreeE, vyrobených aditivní metodou pomocí robotického ramene (viz. obr. 2-3). [3] Díky tomu, že jsou vyrobeny z betonu, jsou velmi stabilní a hlavně odolné, takže jsou vhodné na veřejná místa, jako je například městský park. Lavičky jsou tvarově velmi jednoduché a postrádají opěradlo i područky. Jako set vypadají velmi dobře, nicméně zejména nejnižší model má z ergonomického hlediska pro průměrně vysokého člověka nedostatečnou výšku, a proto je jeho využití omezené hlavně na děti a mladé lidi, kterým nebude dělat problém se tak nízko posadit a zase vstát.

Co se týká estetické stránky, nejvýraznějším prvkem je zde vlnkový vzor vytvořený pomocí samotného procesu tisku, který je plně pod kontrolou. [3] Vzor je velmi esteticky příjemný a dodává lavičce jedinečnost. Tento prvek je možný právě díky metodě výroby lavičky pomocí 3D tisku. Vzor je poměrně hrubý a v letních měsících, kdy mají lidé často odhalené nohy by mohl být při sezení nepříjemný a způsobovat otlačeniny.

Samotný materiál svou strukturou, která není u finálního výrobku zbroušena nebo vyleštěna, nepůsobí na holou kůži příjemně a mohl by škrábat. Další vlastností materiálu je charakteristická šedá barva betonu, která sice může působit poněkud ponuře a syrově, ale na rozdíl od barvy bílé na ní nebude tolik vidět špína.



**Obr. 2-3** Wowen concrete furniture. [3]

Dalším příkladem z dílny XtreeE je betonová váza Cirratus Vase vyrobená taktéž aditivní metodou pomocí robotického ramene, která vznikla na počátku spolupráce XtreeE se Zaha Hadid Architects CODE Team (viz. obr. 2-4). Je inspirována podmořským životem a přebírá určité rysy designové skleněné vázy od architekta Alvara Aalto. [4]



**Obr. 2-4** Cirratu Vase. [5]

### Philipp Aduatz Design

Jedná se o set pohovky, křesla a lavičky z dílny designéra Philippa Aduatze (viz. obr. 2-5). Set je vyroben aditivní metodou za použití betonu na bázi bílého cementu. Záměrem autora bylo dosáhnout minimální tloušťky, proto je zde využito zpevňujících prvků – konkrétně tyčí ze skleněných vláken a karbonové textilie. Tyto prvky jsou dokonale zapracovány do celkového tvaru a vizuálně vůbec nepoškozují výsledný design. [6]

Pohovka i křeslo vypadají velmi stabilně, pouze lavička má vzhledem ke své délce nohy celkem blízko u sebe a z dálky tak může působit nestabilně, s přihlédnutím k její vysoké hmotnosti je však šance na převrnutí velmi malá. Přesto, že je nábytek z betonu, působí velmi lehce hlavně díky malé tloušťce profilu a vzdušné podstavě, která je, na rozdíl od výrobku 1, tvořena čtyřmi nohami. Výhodou použití tohoto tvarování je, že ve spodní části vzniká dostatek místa a sedící člověk si může pohodlně skrčit nohy pod lavičku a díky tomu se mu bude i lépe vstávat. Kraje Pohovky a křesla jsou zvýšené, čímž vznikají menší područky, o které se dá částečně opřít a je jimi vymezena sedací plocha. U křesla dochází k prakticky úplnému prohnutí sedací plochy, které by mohlo u objemnějších postav hlavně v přední části působit nekomfortně.

Jednobarevné bílé provedení je velmi minimalistické, moderní a elegantní. Jedinou velkou nevýhodou je, že na bílé barvě jde snadno vidět špína a známky vandalizmu. Bílá barva také napomáhá odlehčení designu a ve spojení s celkovým tvarem může nábytek asociovat ohnutý list papíru nebo ubrousek. Tvar je velmi dynamický, díky kombinaci oblých hran a zakončení ostrou hranou na obou stranách nábytku.



**Obr. 2-5** Private Comission. [6]

### Pots Plus collection

Jedná se o kolekci čtyř kusů sedacího nábytku určeného do městského exteriéru z dílny The New Raw. Jednotlivé kusy jsou vyrobeny pomocí robotického 3D tisku z recyklovaného plastového odpadu, a jsou dále recyklovatelné. Přidanou hodnotou nábytku jsou zabudované květináče na městskou zeleň dost velké na to, aby pojaly menší keř. Díky tomu jsou lidé, co se zde posadí, v bezprostředním kontaktu s přírodou a mohou strávit příjemné chvíle odpočinku ve stínu a v soukromí. Dalším bonusem je možnost přidělat k lavičce například stojan na kolo, nebo misku na vodu pro psy. Výrobky existují v několika barevných variantách, které jsou všechny přírodního charakteru a jsou tak v souladu s tématem tohoto nábytku. [7]

### Curved

Lavička je dost velká pro jednoho až dva pohodlně sedící lidí, nebo pro jednoho člověka opřeného v pololehu s nataženýma nohama na sedáku. [7] Všechny hrany jsou oblé a nebudou nikde tlačit. Nevýhodou je, že pod lavičkou není volný prostor na nohy. V pozici pololehu se člověk nemusí obávat, že z lavičky spadne, i když je poměrně úzká, protože opěradlo na záda je za tímto účelem přiměřeně tvarované (viz. obr. 2-6).

Výhodou poměrně hrubé struktury materiálu je jeho protiskluzová funkce. V pozici pololehu, kdy je ještě důležitější, aby sedadlo neklouzalo, je další výhodou, že je lavička vyrobena pomocí 3D tisku a jsou zde ponechány tiskové linie.



**Obr. 2-6** a) Pots Plus – Curved zelená barva, b) Pots Plus – Curved hnědá barva. Upraveno [7]

## Organic

Druhým příkladem z této řady je lavička Organic, která má kromě zabudovaného květináče také už v základním tvaru vetknutý postranní stolek. Ten může sloužit například na odložení kelímku s kávou, ale třeba i na notebook, když chce člověk pracovat venku na čerstvém vzduchu (viz. obr. 2-7).

Mohou na ní pohodlně sedět až 3 lidé, nebo jeden člověk v poloze pololehu. [7] Boční hrana je mírně zvednutá a vymezuje tak polohu při pololehu. Zároveň by ale v případě vzpřímeného sezení jednoho nebo více lidí tlačila do spodní strany steh.



**Obr. 2-7** Pots Plus – Organic. [7]



## 221 Avens Chaise

Jedná se o křeslo určené do interiéru od společnosti Model No (viz. obr. 2-8). Tělo je vyrobeno z pryskyřice na rostlinné bázi a je doplněno bočními díly z masivního dřeva. Existuje několik možných barevných variant pryskyřice v odstínech šedé a hnědé, a tři varianty dřevěného dílu. Na výběr je také ze tří unifikovaných velikostí, nebo lze upravit některé rozměry podle konkrétní tělesné konstituce zákazníka, což je umožněno ve větším měřítku hlavně díky využití technologie 3D tisku. [8]

Křeslo na první pohled působí pevně, stabilně a bezpečně. V celkovém tvaru je zabudovaný odkládací stolek na občerstvení nebo menší věci. Jedna strana odkládací plochy se postupně svažuje, což by mohlo vést ke sklouzávání odložených předmětů a zároveň se hrana nedá efektivně použít jako opěrka pod ruku, jelikož je rovná plocha příliš daleko od těla.

Sedací část se prohlubuje a je poměrně nízko, takže člověk do křesla doslova „zapadne“, v kombinaci s výrazně nakloněným zádočným opěradlem a absencí područek by se z něj například starším lidem, špatně vstávalo. Pokud by byl dřevěný díl odnímatelný, prostor pod odkládací plochou by se dal využít jako menší úložný prostor například pro deku.



**Obr. 2-8** Aven Chaise. [8]

## Kolekce LOOP

Jedná se o kolekci plastového nábytku určeného do interiéru, vyrobeného pomocí 3D tisku (viz. obr. 2-9). Kolekce vzešla ze spolupráce Ai Build se společností Cucune, s cílem produkovat tento nábytek ve velkém za přiměřenou cenu, aby byl dostupný pro každého. Sestává ze tří stolků, čtyř židlí a dvou stoliček. Všechny jsou stabilní, ale zároveň působí velmi lehce a vzdušně. Všechny kusy k sobě dobře ladí, kromě jedné židle, jejíž design vybočuje z řady způsobem, jakým se prohýbá plocha, která ji tvoří. Zatímco ostatní kusy vypadají, jako by byly složeny z jedné, několikrát založené vrstvy, tato židle působí, jako by ji tvořilo vrstev několik. Zdá se, že plocha vůbec netvoří smyčky jako u ostatních kusů nábytku a plochy jdou často rovnoběžně až ve čtyřech vrstvách. Kvůli systému tvoření smyček vzniká poměrně velká nerovná plocha s množstvím záhybů, kde se bude hromadit prach a nečistoty. Nábytek je tak poměrně náročný na údržbu. [9]

Nábytek až na výjimky působí ergonomicky a stavba těla nabízí možnost uskladnění menších předmětů mezi jednotlivými smyčkami. Jediný potenciálně nebezpečný prvek je zakončení opěradla u jedné z židlí. Vznikají zde dva velmi ostré rohy, které působí agresivně a při kontaktu by mohlo dojít k bolestivému zranění. Povrch nábytku je buď vyleštěný do hladka, nebo jsou zachovány tiskové linie, které jsou však v tomto případě velmi jemné a nepředstavují žádné riziko nekomfortu.

Kolekce celkově působí velmi moderně a pohodlně. Hodí se do moderních domácností, nebo například jako vybavení společenské zóny v moderních firmách. Výhodou je mnoho barevných variant od šedé až po jasně žlutou.



**Obr. 2-9** Kolekce Loop. [9]

## Second Nature – Table

Jedná se o nízký stůl ze série Second Nature od firmy The New Raw, vyrobený pomocí robotického 3D tisku z plastového odpadu, který znečišťuje oceány (viz. obr. 2-10). Tato série upozorňuje na rozsáhlý ekologický problém a zároveň nabízí řešení ve formě dalšího využití již vyhozeného plastového odpadu. [10]

Stůl na první pohled působí spíše jako dětská hračka, než plnohodnotný kus nábytku. K tomu napomáhá jasně žlutá barva, a hlavně použitý materiál. Díky tomu, že je stůl z plastu, je velmi lehký, což může být výhodou v případě, že je nutné jej často přenášet, ale může to být i nevýhodou, protože je tím pádem snadné jej převrhnout. Další výhodou plastu je jeho odolnost, narozdíl od skleněných nebo dřevěných variant.

Kvůli způsobu výroby a struktuře materiálu je povrch stolku velmi hrubý a ve spárách se bude shromažďovat špína, která se bude obtížně čistit. Tento problém se dá částečně vyřešit zvolením tmavé barevné varianty, u které nebude špína tolik vidět.

Dalším problémem je mírná deformace jedné boční hrany, která je nejspíše dána výrobou. Hrana vystupuje nahoru a narušuje celkový plynulý tvar, což může způsobovat obtíže uživatelům (například při pokládání předmětů na stůl).



**Obr. 2-10** Second Nature – Stůl. [10]

## Supermod

Jedná se o nábytkovou zeď z dílny Simplus Design, která je složena z jednotlivých modulů, přičemž toto řešení přináší několik výhod. Hlavní výhodou je možnost upravit si celkový tvar stěny na míru podle potřeby a vlastností interiéru. Další výhodou je možnost kombinace různých barev a velikostí jednotlivých modulů. Díky tomuto systému je nábytek velmi praktický a zároveň vizuálně atraktivní (viz. obr. 2-11). [11]



Jednotlivé moduly mají pravidelný geometrický tvar, který vychází ze šestiúhelníků. Výhodou je, že jsou otevřené z obou stran, takže nábytek nemusí stát pouze u zdi, ale může stát i samostatně v prostoru. Díky této vlastnosti se dá využít na optické rozčlenění místnosti. [11]

Moduly jsou k dispozici ve dvou tvarových variantách. Jedna je protáhlejší, takže má větší objem a více vystupuje dopředu. Všechny moduly mají na povrchu, tam kde se vzájemně nedotýkají, hrubý vzor, složený z trojúhelníkových plošek. Plošky odrážejí a lámou světlo pod různými úhly a vrhají velmi zajímavé stíny. Na vnitřní straně na každém kraji je tentýž vzor, avšak mnohem jemnější. [11]

Na výrobu jsou použity materiály s různou úrovní propustnosti světla, takže světlo částečně prosvítá stěnami a díky vzoru na povrchu vytváří krásné efekty a osobitou atmosféru. [11]



Obr. 2-11 Nábytková stěna Supermod. [11]

## Bow

Jedná se o jednu z dvojice židlí vytvořených týmem Zaha Hadid Architects, které jsou součástí kolekce Brave New World (viz. obr. 2-12). Inspirací pro ně byl podmořský ekosystém a korálové útesy. Je vyrobena metodou 3D tisku z biologicky odbouratelného, netoxického plastu z obnovitelných zdrojů jako je například kukuřičný škrob. Díky tomuto materiálu je židle lehká a pevná. [12]

Tělo je tvořeno robustní sedací částí, která plynule přechází do jediné nohy. Přesto, že je noha hodně masivní, židle působí nestabilně, a když vezmeme v úvahu její nízkou váhu, snadno by se s člověkem mohla převrátit.

Z ergonomického hlediska má židle některé nevýhody. Jednou z nich je vejcovitý tvar sedáku a opěradla. Oboje je spojené pomocí velkého rádiusu do jednoho tvarového celku, tudíž není vymezená přesná poloha sedícího člověka, a i vzhledem k použitému materiálu může docházet ke sklouzávání dolů. Další nevýhodou je poměrně dost ostrá hrana v místě pod kolena sedícího člověka, která by mohla lidem s krátkýma nohama způsobovat otlačení.

Barevné zpracování designu je velmi originální a maximálně využívá potenciál 3D tisku, malou nevýhodou může být, že barvy nejsou neutrální a tím pádem se nebudou hodit do některých interiérů.



**Obr. 2-12** Židle Bow vytvořená týmem Zaha Hadid Architects. [12]

## 2.2 Technická analýza

Technologie Polybet vznikla jako reakce na nynější špatnou ekologickou situaci, kdy stále velké množství plastů končí na skládkách, nebo v horším případě v oceánech. Technologie umožňuje další využití těchto odpadních termoplastů a dalších materiálů na výrobu dekorativních předmětů, nábytku a stavebních dílců s vlastnostmi, které v mnoha směrech předčí konvenční beton. [13]

## 2.2.1 Materiály

Materiál určený k tisku (Polybet) má dvě základní složky, kterými jsou pojivo a plnivo. Jako pojivo se využívá hrubě tříděného odpadního plastového materiálu (celé nevymývané, netříděné PET lahve, plastové obaly a další druhy plastového odpadu). Ty jsou drceny na dílky o velikosti 2-5 mm. Jako plnivo se využívá písek, kamenivo, drcené sklo apod. Velikost dílků je maximálně 4 mm. Důkladně suchý materiál se mísí s pojivem v míchacím reaktoru. Sypká směs je dále pomocí šnekového extrudéru temperována na teplotu tání daného termoplastu a jako tavenina vytlačována ven z tiskové hlavy. [13]

Barevnost závisí na barvě výchozího plastu. Většina plastů je přirozeně bílá, slonovinová nebo čirá. Pokud je materiál původně čirý, dá se dobarvit prakticky na jakoukoliv barvu. Další možností je získat již vytríděný zdroj recyklátu s konkrétní barvou. Konečná povrchová úprava výrobku není nutná, ale podle potřeby se dá povrch brousit a leštit (viz. obr. 2-13).

V porovnání s konvenčním betonem jsou některé vlastnosti Polybetu lepší (viz. tab. 2-1).

Fyzikální vlastnosti	POLYBET (písek/PET 23/77)	Konvenční beton
Objemová hmotnost	1950 kg/m <sup>3</sup>	2300 kg/m <sup>3</sup>
Střední pevnost v ohybu	14,6 MPa	7 MPa
Nasákavost	0%	7%
Mrazuvzdornost	1 [-]	0,8 [-]
Hloubka průsaku tlakovou vodou	0 mm	3–5 mm

**Tab 2-1** Porovnání fyzikálních vlastností materiálu Polybet a konvenčního betonu, upraveno [13]



**Obr. 2-13** a) Reálné výrobky z Polybetu vyrobené pomocí 3D tisku v různých barevných odstínech b) výrobek z Polybetu vyrobený pomocí 3D tisku se zbroušeným povrchem. Foto: Martin Krčma, upraveno.

### 2.2.2 3D tisk

3D tisk je druh aditivní výroby, což znamená, že výroba předmětu probíhá pomocí postupného přidávání materiálu. Ke tvarování výrobku se nepožívají žádné formy ani jakékoliv metody ubírání materiálu jako je například frézování. Jediný případ, kdy může být ubrána malá vrstva materiálu, je konečná povrchová úprava pomocí broušení a leštění. Rozlišujeme dvě základní metody tisku 3D objektů – FFF a SLA. [14]

#### FFF

Zkratka FFF pochází z anglického Fused Filament Fabrication a v překladu znamená „výroba taveným filamentem“. Všeobecně je také velmi známá zkratka FDM (Fused Deposition Modeling), ale jedná se o ochrannou známku společnosti Stratasys, proto se na oficiálních stránkách používá zkratka FFF. Při procesu tisku do tiskárny vstupuje tiskový materiál v podobě struny, pomocí extrudéru (tiskové hlavy) je roztaven a vytlačován skrze trysku ven, kde se po jednotlivých vrstvách vytváří konečný produkt v jeho finálním tvaru. [14]

Výhody FDM:

- Nízká pořizovací cena tiskárny (viz. obr. 2-14) a nízké provozní náklady
- Velký výběr tiskových materiálů s různými vizuálními i mechanickými vlastnostmi
- Vysoká přesnost tisku (závisí na rozlišení tiskové hlavy)
- Vysoká rychlost tisku a poměrně snadné připravení dat k tisku

Nevýhody FDM:

- Dochází k deformaci materiálu při chladnutí
- Hrubý povrch výrobku při nízkém rozlišení tiskové hlavy [14]



**Obr. 2-14** FDM 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+. [15]

## SLA

Zkratka SLA vychází ze slova Stereolitografie. Tato metoda je založena na úplně jiném principu než FFF. Funguje na principu postupného vytvrzování fotoreaktivní pryskyřice (reagující na světlo) buď laserem nebo diodami. Nejprve je do nádoby nalita vrstva tekuté pryskyřice, do které je následně ponořena tisková platforma. Ta je zespodu osvětlována velmi přesným zdrojem světla. Po vytvrzení aktuální vrstvy se platforma zvedne přesně o její výšku a vytvoří další vrstvu. Výška jedné vrstvy se pohybuje v řádech setin až desetin milimetru. [14]

Výhody SLA:

- Velmi přesné
- Hladký povrch výrobku

Nevýhody SLA:

- Vysoká pořizovací cena tiskárny (viz. obr. 2-15) i cena pryskyřice
- Malý výběr tiskového materiálu a jeho vlastností
- Nízká rychlost tisku [14]



Obr. 2-15 SLA 3D tiskárna Original Prusa SL1. [16]

### 2.2.3 Omezení 3D tisku metodou FFF

3D tisk metodou FFF, neboli výroba taveným filamentem, má kromě výše zmíněných výhod i své nevýhody. Mnohé z nich se vztahují pouze k použití plastového filamentu u tisku menších předmětů, ale na některé je třeba dbát i při velkoformátovém tisku z materiálů, jako je Polybet. Těmito jsou:

#### Přemostění

Jedná se o překlenutí velké vzdálenosti mezi dvěma body pomocí jedné linky materiálu. Problém nastává ve chvíli, kdy je vzdálenost příliš dlouhá a linie materiálu se prověsí, nebo přetrhne. Možným řešením je vybudování dočasných podpor. Toto řešení však nelze použít v konkrétních podmínkách stanovených pro tento projekt. Jediné řešení, které se tedy nabízí, je zkrácení vzdálenosti, kterou je nutné překlenout. [18]

#### Převisy

Často se jim nejde úplně vyhnout. Bez ztráty kvality je možné vytisknout převisy do 45°, a do určité délky v závislosti na materiálu. V problematických případech je nutné využít dočasných podpůrných struktur. Pokud to není možné, je nutné zkrátit převis na bezpečnou délku a úhel, což může mít vliv na konečný vzhled výrobku. [18]



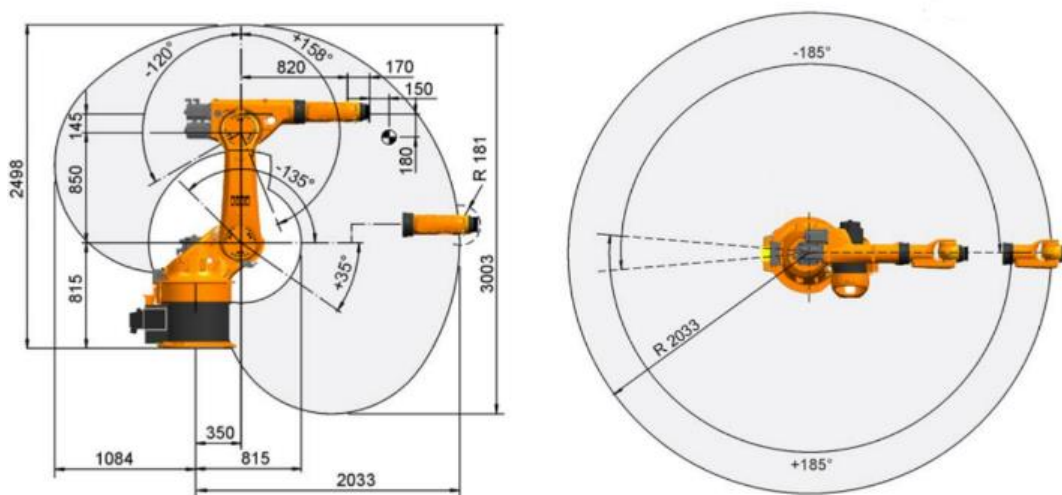
## Díry

U horizontálních děr je velmi pravděpodobná deformace, což je dáno tím, že jejich okraj je tvořen mnoha vrstvami s rozdílným převísem. Vertikální díry jsou často po vytisknutí menší, než byl záměr, kvůli tlaku, který vyvíjí tryska na čerstvě položené linie v okolí díry. Možným řešením je místo kulaté díry použít díru ve tvaru slzy, což u horizontální díry omezí převís u jednotlivých vrstev a díra bude přesnější. Pokud však záleží na tvaru díry, je možné vytisknout díru menší a následně ji broušením zvětšit. [18]

### 2.2.4 Robot KUKA

Cílem této bakalářské práce je navrhnout nábytek, který se následně vytiskne pomocí robota KUKA 60HA, kterým disponuje 3D laboratoř ústavu konstruování na FSI VUT v Brně. Konstrukce robota (především jeho velikost), bude hrát roli při navrhování designu nábytku. Primárním účelem tohoto robota je obrábění materiálu a svařování, ale zde se mimo jiné využívá i jako nosič extrudéru na 3D tisk Polybetu metodou FFF, s možností víceúhelníkového náklonu. Samotný robot je šestiosý, ale z důvodu zjednodušení práce a maximalizace velikosti konečných produktů bude návrh omezen pouze na využití tříosého tisku. [2]

Pracovní prostor robota určuje maximální velikost výrobku a je znázorněn na obrázku (viz. obr. 2-16). Reálně se nedá jednoduše a jednoznačně popsat, ale v podstatě jde o prostor mezi dvěma segmenty koule. Tisknutelnost velmi záleží na tvaru tisknutého předmětu. Jeden, případně dva rozměry mohou být dlouhé, ale třetí musí být tím pádem krátký.



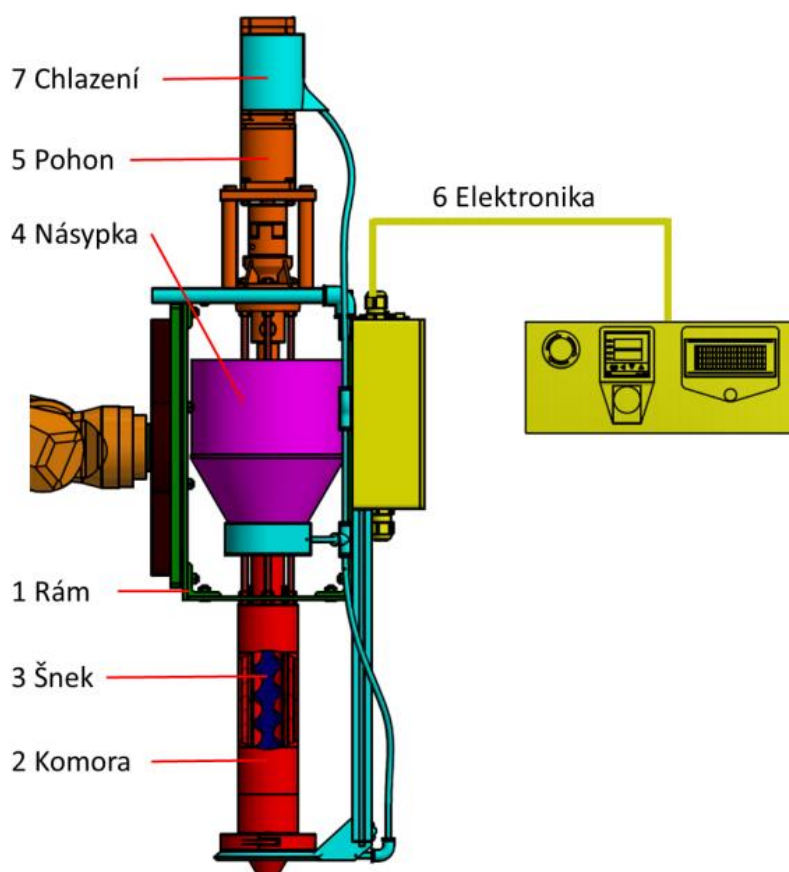
Obr. 2-16 Manévrovací prostor robota KUKA 60HA. [2]

### 2.2.5 Extrudér (tisková hlava)

Extrudér je zařízení, do kterého vstupuje pevný materiál, který se zde zahřívá a ve formě taveniny je vytlačován skrz trysku ven. Konkrétní extrudér, který je využitý v této práci, je šnekový, což znamená, že vytlačování materiálu z násypky do trysky je zajištěno pomocí závitu (šneku), který pomalu rotuje a tím uvádí materiál do pohybu. [2]

Tento extrudér vznikl v roce 2019, jako výsledek diplomové práce pana Ing. Jiřího Kočáře. Je navržen pro šestiosé robotické rameno (viz kapitola 2.2.2) s ohledem na jeho maximální nosnost. Robotické rameno hýbe extruderem, který se může samostatně natáčet a aditivně klade vrstvy roztaveného materiálu do finálního tvaru. Maximální rychlost tisku Polybetu je 7,7 mm/s výnosem materiálu 55 g/min. [2]

Extrudér se skládá z těchto hlavních částí (viz. obr. 2-17): nosný rám (1), komora (2), šnek (3), násypka (4), pohon (5), elektronika (6), chlazení (7). Součástí komory je i tryska. Průměr trysky, kudy materiál opouští tiskovou hlavu, je 10 mm a výška vytvořené vrstvy materiálu je 4–5 mm. Velikost trysky určuje minimální rádiusy u konečného výrobku. Další limity vychází hlavně ze samotného procesu tisku (viz. kapitola 2.2.2). [2]



Obr. 2-17 Schéma šnekového extrudéru. [2]



## 2.2.6 Postup přípravy dat k tisku

Trajektorie tisku jsou připravovány v prostředí Grasshopper a ke generování kódu pro robota se používá plugin KUKA PRC Robot Control. Grasshopper je grafické programovací prostředí, které je součástí 3D grafického a CAD programu Rhinoceros 3D.

## 2.2.7 Závěr

Finální velikost navrhovaných produktů nemůže být vzhledem k omezenému manévrovacímu prostoru robotického ramene příliš velká. V návrhu musí být dodrženy minimální rádiusy, které jsou dané průměrem trysky a taktéž musí být dodrženy i ostatní omezení vyplývající z metody 3D tisku FFF. Využití této metody má ale i své výhody, oproti neaditivním metodám výroby, na které by měl být v návrhu kladen důraz, jako například poměrně snadná výroba předmětů s organickým tvarováním.

Využití technologie Polybet pro výrobu venkovního nábytku může být velice výhodné. Materiál má velmi dobrou odolnost vůči vnějším vlivům, jako je například vystavení přímému slunečnímu svitu, nebo teplotám pod bodem mrazu. Polybet je oproti konvenčnímu betonu velmi lehký a pevný, takže se dají menší výrobky poměrně snadno přenášet. Zároveň je to možnost dalšího využití odpadních termoplastů a jiných materiálů (např. skla z fotovoltaických panelů, které je jinak jen obtížně recyklovatelné). [13]

Díky všem výše popsaným výhodám je pravděpodobné, že se technologie bude v budoucnu dále vyvíjet a zdokonalovat, jelikož má široké využití ve stavebnictví i v dalších odvětvích.

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

V současné době je na trhu pouze omezené množství nábytku vyrobeného pomocí 3D tisku a jedná se spíše o kusovou výrobu. Výrobky z materiálu Polybet na trhu chybí úplně a při vzrůstajícím zájmu veřejnosti o ekologii a nové technologie se jedná o správný směr do budoucnosti.

### 3.1 Analýza problému

Robotická aditivní výroba z Polybetu je novinka, tudíž existuje pouze omezené množství pramenů, ze kterých lze čerpat přesné a aktuální informace. Design je velmi omezen principem technologie 3D tisku FFF a velikostí (respektive manévrovacím prostorem) robotického ramene.

### 3.2 Analýza, interpretace a zhodnocení poznatků z rešerše

V rešerši se nevyskytuje žádný konkrétní příklad použití materiálu Polybet k výrobě venkovního nebo jiného nábytku aditivní metodou, protože zatím žádný nábytek z tohoto materiálu touto technologií vyroben nebyl. Existuje pouze několik váz a dekorativních předmětů, které se nachází na VUT v Brně. I když není uveden žádný produkt z Polybetu, postup výroby i její omezení jsou srovnatelná s těmi u výroby z konvenčního betonu nebo plastu, proto je rešerše zaměřena na tyto výrobky.

Většina výrobků má oblé organické tvary, což je jedna z největších předností výroby pomocí 3D tisku. Díky tomu je hlavně sedací nábytek pohodlný, protože nikde netlačí žádné hrany. Pokud má nábytek uzavřený tvar, vnitřek může sloužit jako úložný prostor, například pro podsedáky.

Vlastností předmětů vyrobených pomocí 3D tisku je charakteristická struktura tiskových linií po celém povrchu výrobku. Pokud je tato struktura velmi hrubá, což hrozí právě u využití materiálu Polybet, z důvodu velkého průměru trysky a velikosti zrn plniva, mohlo by být nepříjemné na nábytku delší dobu sedět nebo se o něj například opírat rukou. Tomuto problému se dá zamezit finální povrchovou úpravou všech problematických ploch pomocí broušení a leštění materiálu. Na druhou stranu, pokud struktura není příliš hrubá a má správný směr, může mít protiskluzovou funkci, nebo může dokonce sloužit jako dekorativní prvek.

Výrobek se dá ve finální podobě kombinovat s dalšími materiály, jako je například dřevo, kov, nebo textilie (vyměkčený sedák). Výsledný kus nábytku se může skládat z dílčích částí spojených k sobě například šrouby, což nabízí možnost kombinace různých barev materiálu. Materiál Polybet je velmi odolný a dobře se hodí na dlouhodobé vystavení venkovním vlivům. Všechny kusy musí splňovat požadavky na robotickou výrobu, jako jsou správné rozměry a tvar, aby byly vyrobitelné.

### 3.3 Cíle práce

Bakalářská práce se bude zabývat designem setu venkovního nábytku. Součástí setu budou minimálně dva rozdílné kusy nábytku. Tyto kusy musí být vyrobitelné aditivní metodou pomocí robotického ramene KUKA 60HA z materiálu Polybet. Nábytek musí splňovat základní ergonomické principy, aby byl pohodlný a dobře plnil svoji funkci a zároveň musí být vizuálně příjemný.

### 3.4 Cílová skupina

Produkt cílí spíše na mladší generace spotřebitelů, kteří jsou otevření využití nových technologií. Mezi nimi hlavně na ekologicky smýšlející jedince, kteří vyhledávají produkty z recyklovaných materiálů s garancí dlouhodobé trvanlivosti.

### 3.5 Základní parametry a legislativní omezení

Hlavním parametrem, který výrazně omezuje návrh je maximální velikost nábytku. Tento údaj se odvíjí od využití robotického ramene, které má pouze omezený manévrovací prostor (viz. kapitola 2.2.3). Orientační rozměry by mohly být například (1,5x1x0,5) m nebo (0,75x0,75x1,5) m.

Jelikož byl jako téma zvolen zahradní nábytek určený pro použití na soukromém pozemku, na rozdíl od nábytku určeného do veřejných prostor se k němu nevážou žádná legislativní omezení.

### 3.6 Použité výrobní technologie, možný trh a cena

Celý set je vyrobený aditivní metodou pomocí robotického 3D tisku. K výrobě je využito robotické rameno KUKA 60HA (viz kapitola 2.2.3), které nese šnekový extrudér s tryskou o průměru 10 mm (viz kapitola 2.2.4).

Nábytek by se mohl prodávat klasicky v prodejnách nábytku, v hobbymarketech nebo v internetovém e-shopu. Cílovou skupinou jsou spíše mladší generace lidí, kteří se zajímají o ekologii a využití nových technologií a materiálů.

Cena odpadních látek nutných k výrobě Polybetu je téměř zanedbatelná, takže se výrobní cena odvíjí pouze od strojového času nutného na vytištění výrobků, a dále od času a materiálu nutného na zbroušení některých částí povrchu. Aproximativní konečná cena, pokud předpokládáme sériovou výrobu, se pohybuje okolo 9 000 Kč.

## 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

Při hledání finálního tvaru bylo zvažováno mnoho aspektů, jako například vyrobitelnost, ergonomie, praktičnost nebo estetika produktů. 3D tisk nabízí mnoho výhod, které jsou pro tuto technologii specifické, ale má i řadu omezení. Velkou výhodou je možnost organického tvarování, ale nevýhodou je nemožnost přemostit větší vzdálenosti a omezená velikost produktu.

### 4.1 Varianta 1



Obr. 4-1 Varianta1.

První varianta zahrnuje nízký stolek (viz. obr. 4-1), který by se kombinoval s rovnou lavičkou. Tvar je založený na jednoduchosti a praktičnosti.

Díky dvěma širokým nohám je stolek stabilní a nehrozí jeho převrácení. Nohy jsou zároveň prohnuté směrem dovnitř, což umožňuje i lidem sedícím v čele stolu dát si nohy pohodlně pod něj. Horní deska je rovná a prostorná i díky tomu, že přesahuje přes vybočující nohy a nemá žádné ostré rohy. Hlavní výhodou této varianty je však úložný prostor, který vzniká díky vhodnému tvarování pod vrchní deskou a může sloužit k odložení nádobí nebo menších věcí.

## 4.2 Varianta 2



Obr. 4-2 Varianta 2.

Druhá varianta je kombinací lavičky a lehátka (viz. obr. 4-2). Disponuje opěradlem podél části jejího obvodu a čtyřmi nožkami. Celkově má zahnutý tvar a díky nožkám je velmi stabilní.

Díky tvaru a velikosti opěradla nabízí lavička několik možností sezení: sezení s opřenými zády, sezení bez opory zad a leh s oporou zad a hlavy. Organické tvarování a využití základních ergonomických principů zajišťuje maximální pohodlí ve všech pozicích. V sedě se na ni pohodlně vejdou dva lidé, zatímco v leže jen jeden s mírně pokrčenýma nohama. Sada se bude skládat ze dvou symetrických kusů navazujících na sebe a z další lavičky jiného typu. Zahnutý tvar vybízí k umístění laviček okolo stolku nebo například ohniště v centru.

### 4.3 Varianta 3



**Obr. 4-3** Varianta 3.

Třetí varianta je lavička s opěradlem a bez nožiček (viz. obr. 4-3). Tím, že spočívá na poměrně velké ploše je stabilní a působí velmi solidně. Celkově má zahnutý tvar, podobně jako varianta č. 2. Set se bude skládat ze dvou symetrických kusů postavených vedle sebe.

Opěradlo není podél celé délky lavičky, což umožňuje podle potřeby jednomu člověku sedět čelem opačným směrem. Výška opěradla se v průběhu zmenšuje a nabízí se tak různé stupně opory zad. Díky organickým tvarům a ergonomickému zpracování je lavička pohodlná. Velký rádius dole u země umožňuje částečné skrčení nohou pod lavičku. Pohodlně se na lavičku posadí 3 až 4 lidé.

## 4.4 Výběr finální varianty

Pro finální zpracování byla vybrána varianta č. 2. pro její praktičnost a multifunkčnost. Její největší výhodou je variabilita poloh při sezení: s využitím opěradla, nebo bez něj, nebo v pozici lehu. Další výhodou je, že je pod lavičkou prostor na nohy, což je z hlediska ergonomie výhodné jak při sezení, tak hlavně při vstávání. Lavička je z obou stran uzavřená, což je praktické z hlediska údržby, jelikož se dovnitř nedostávají nečistoty, které by se z hrubého povrchu v uzavřeném prostoru špatně dostávaly. Zahnutý tvar lavičky podporuje myšlenku stolku v centru dění a zároveň na sebe lidé sedící na lavičce nebo dvou lavičkách postavených vedle sebe dobře vidí, což je příjemné při konverzaci. Lavička má také velký potenciál k dalšímu vývoji.

Varianta č. 1 je tvarově velmi jednoduchá a praktická, ale nevyužívá dostatečně plný potenciál technologie robotického 3D tisku. Další nevýhodou je, že je stůl z obou stran otevřený a ve vnitřním prostoru nožiček by se hromadily nečistoty, které by šlo jen těžko vyčistit. Celkově design působí strnule, a ne příliš zajímavě.

Největší výhodou varianty č. 3 je, že se na lavičku vejdou až 4 lidé. Jelikož se jedná o zahradní nábytek, tato vlastnost se hodí spíše jen při zvláštních příležitostech, jako jsou oslavy nebo grilování. Na lavičku ve variantě č. 2 se oproti variantě č. 3 pohodlně vejdou pouze 2 lidé, ale zároveň nabízí možnost lehu s oporou zad a hlavy, což lze využít v každodenním životě pro relaxaci na čerstvém vzduchu. Jelikož Varianta 3. Nevyužívá nožičky, ale stojí přímo na svém těle, působí velmi objemně a hmotně. Absence nožiček také znamená, že pod lavičkou není volný prostor na nohy. I když je tento nedostatek mírně kompenzován velkým rádiusem hrany podstavu, stále to není z hlediska ergonomie ideální jak při sezení, tak i při vstávání.



## 5 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

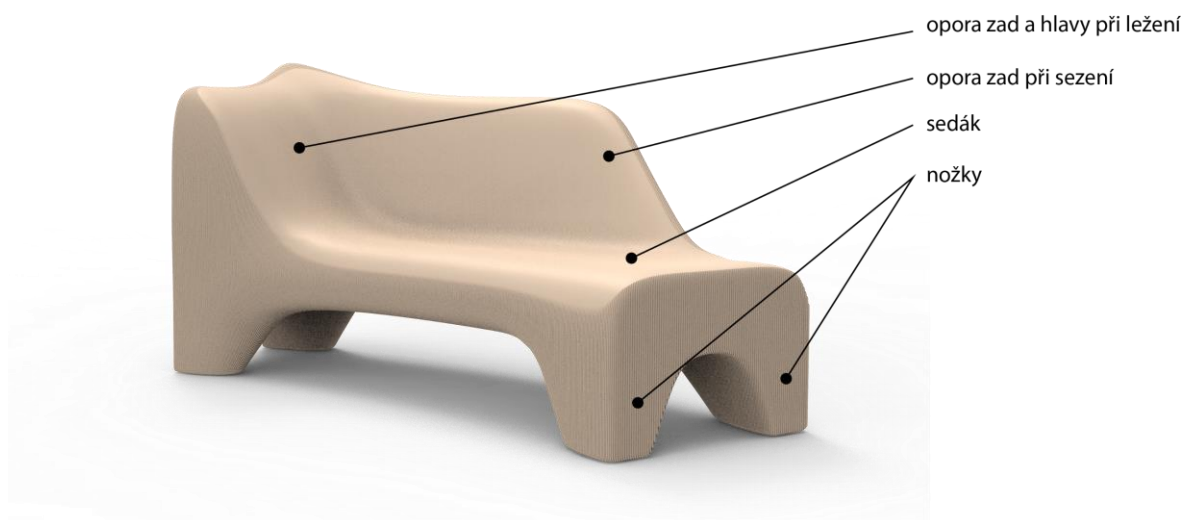
Jak už bylo řečeno v kapitole č. 4.4, pro finální řešení byla z několika důvodů zvolena varianta č. 2. Lavička prošla množstvím změn a úprav tvaru. Původní zahnutí lavičky se ukázalo jako příliš výrazné z důvodu špatné vyrobitelnosti, ale i ergonomie a estetiky. Dále byly upraveny nožičky za účelem většího souladu tvarů a lepší stability. Po provedení ergonomické studie prošlo menšími změnami i opěradlo a sedák, aby byla lavička maximálně pohodlná ve všech polohách sedu i lehu.

### 5.1 Základní produkt – lavička s opěradlem

Jako základní produkt setu byla zvolena lavička s opěradlem, jelikož v procesu návrhu byla navržena chronologicky nejdříve a stejné designové prvky a principy byly později využity i při tvorbě lavičky bez opěradla.

#### 5.1.1 Členění

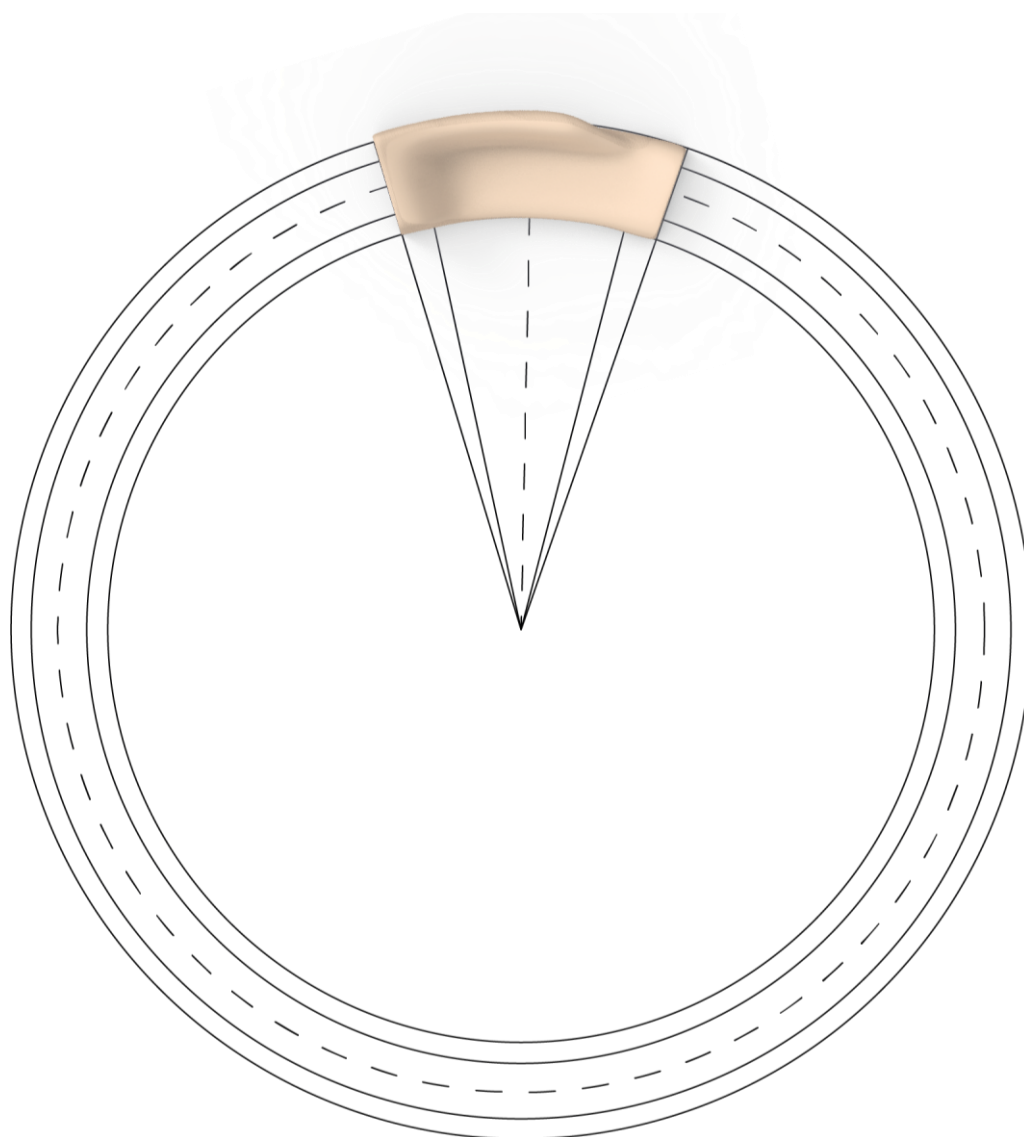
Celkově se lavička s opěradlem dělí na několik hlavních částí (viz. obr. 5-1), jež jsou mezi sebou hladce propojeny. Lavička stojí na čtyřech nožičkách, které jsou na obou stranách symetrické. Nožičky podpírají sedací část, ze které plynule vychází opěradlo. Opěradlo můžeme pomyslně rozdělit na dvě části. První část slouží jako opora zad při vzpřímeném sezení a mohou ji využít až dva lidé naráz. Druhá část slouží jako opora zad a hlavy při lehu. Díky tomuto členění má lavička více funkcí a působí dynamicky a odlehčeně.



Obr. 5-1 Členění navržené lavičky.

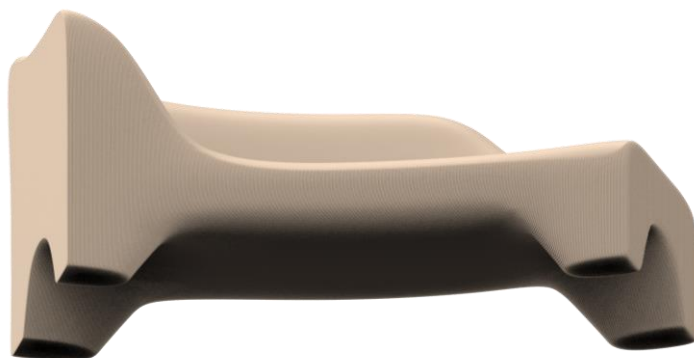
### 5.1.2 Tvarové řešení lavičky s opěradlem

Lavička má tvar úseku mezikruží (viz. obr. 5-2). Od této skutečnosti se odvíjí úhel bočních stran, ale i tvar nožiček, které se zužují směrem do centra pomyslného kruhu, takže zadní nožičky jsou větší než přední. Díky využití základního geometrického tvaru jako základu pro lavičku bylo dosaženo čistého logického tvaru, který působí přirozeně a vzdušně. Rádus použitého mezikruží je dostatečně velký, aby byla lavička vyrobitelná a aby měli všichni sedící lidé dostatek místa na nohy a nevráželi do sebe kolena. V poloze lehu se člověk nemusí složitě nepříjemně kroutit, ale může ležet rovně, s mírně pokrčenýma nohama. Přitom je ale zachována původní myšlenka centrálně zaměřeného setu.

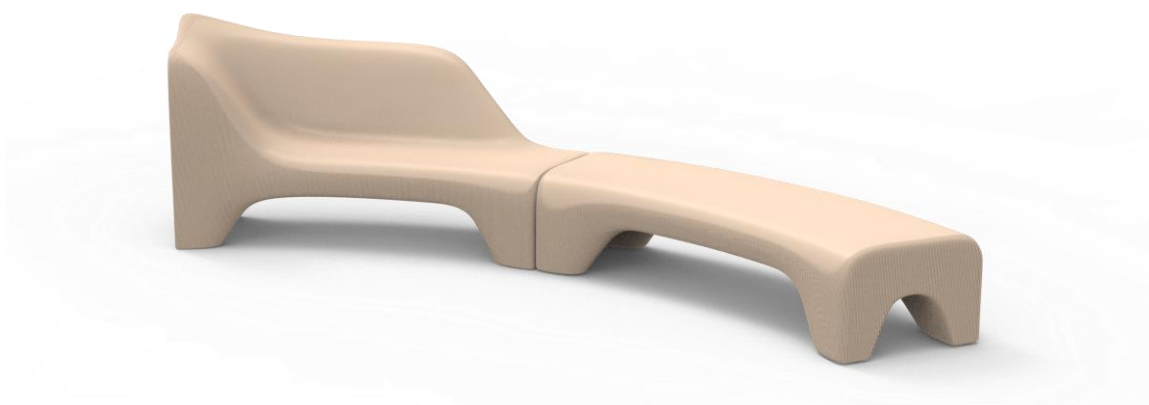


**Obr. 5-2** Vrchní pohled na lavičku s vodícími čarami.

Jak již bylo naznačeno výše, nožičky jsou souměrné podél středové osy lavičky (viz. obr. 5-3) a jejich tvar vychází taktéž ze zmíněného mezikruží. Kvůli vyrobiteľnosti, lepší stabilitě a estetičnosti se nožičky směrem ke středu lavičky rozšiřují. Zakončeny jsou rozměrnou rovnou plochou, čímž je dosaženo maximální stabilnosti lavičky. Na obou bocích jsou nožky zakončeny rovnou plochou, což zajišťuje plynulou návaznost při postavení více kusů nábytku vedle sebe. (viz. obr. 5-4)



**Obr. 5-3** Pohled na lavičku s opěradlem ze spodu.

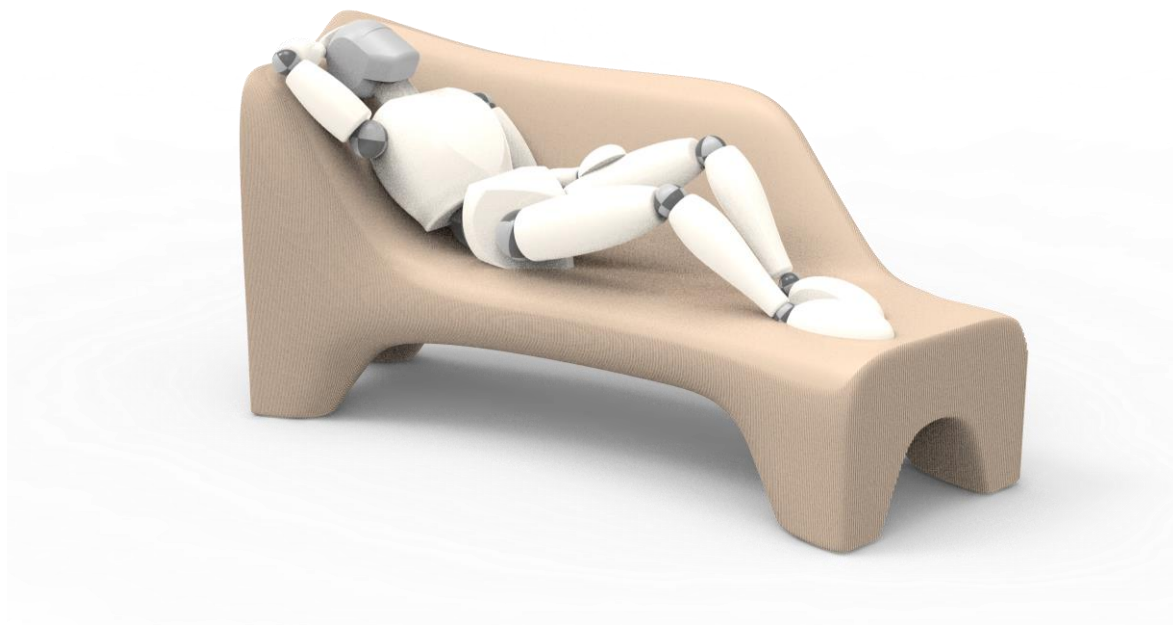


**Obr. 5-4** Lavička s opěradlem a lavička bez opěradla navazující těsně na sebe.

Sedací plocha plynule vychází z nožiček a je velmi jemně tvarovaná pro pohodlné sezení. Všechny její hrany i rohy jsou z důvodů výroby a ergonomie zaobleny, což napomáhá bezpečnosti a pohodlnému sezení po delší dobu. Sedací plocha je na jedné straně o něco delší než opěradlo, což nabízí další možné polohy sezení: například jeden člověk může sedět otočený směrem dozadu.

Ze sedací plochy plynule vystupuje opěradlo (viz. obr. 5-5). Část opěradla sloužící jako opora při sezení je jemně tvarovaná a velmi mírně se svažuje dozadu. Z jedné strany plynule přechází do části pro oporu zad a hlavy při ležení, a na druhé straně se plynule svažuje pod stejným úhlem jako část pro oporu zad a hlavy při ležení. Toto, zároveň se zakončením v nejvyšším bodě opěradla, zajišťuje dynamický vzhled tvarování.

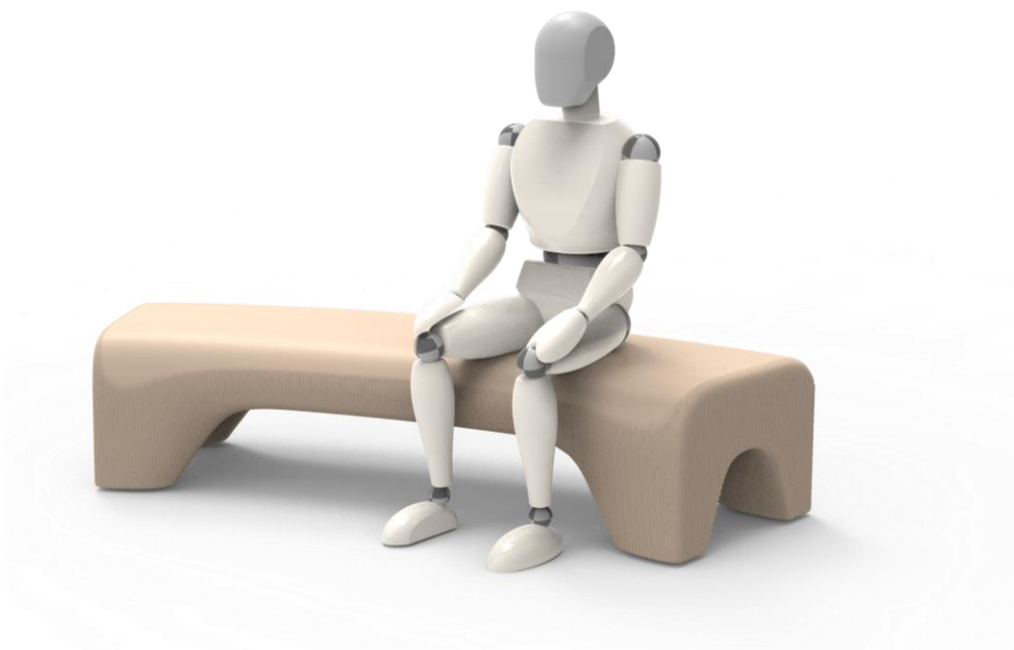
Část opěradla pro oporu zad a hlavy při ležení je objemově nejvýraznější prvek lavičky. Tato část je tvarována s maximálním důrazem na pohodlí uživatele. V zadní části je plocha mírně prohloubena, aby měl ležící člověk pocit bezpečí, a přestože je lavička poměrně úzká, je tím bráněno pádu člověka.



**Obr. 5-5** Člověk ležící na lavičce s opřenými zády a hlavou.

### 5.1.3 Tvarové řešení lavičky bez opěradla

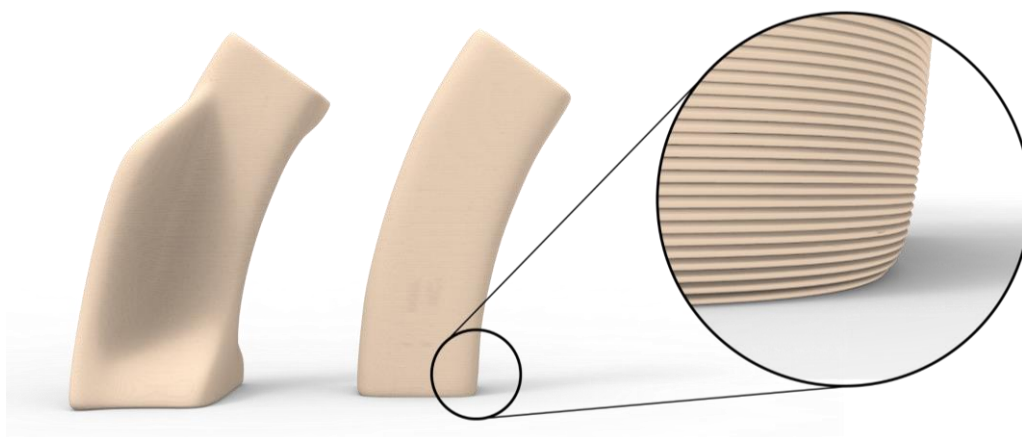
Lavička bez opěradla je druhý kus setu a při navrhování jejího designu byly aplikovány některé prvky a principy použité na lavičku s opěradlem, která byla navržena jako první. Tvarem nožiček i sedáku kopíruje původní lavičku s opěradlem (viz. obr. 5-6). Má stejnou výšku, šířku i délku, ovšem postrádá opěradlo, což umožňuje sezení čelem do všech směrů, nebo ležení úplně narovnaný bez vyvýšené opory zad. Díky absenci opěradla pro polohu lehu se na lavičku v sedě pohodlně vejdou až tři lidé. Sedák má podél svého středu mělkou prohlubeň, která však na koncích lavičky mizí, kvůli zachování ideální návaznosti mezi jednotlivými kusy nábytku.



**Obr. 5-6** Člověk sedící na lavičce bez opěradla.

#### 5.1.4 Struktura povrchu

Obě lavičky se budou tisknout v poloze na boční straně. Protože je využitý systém tříosého tisku, všechny tiskové linie jsou rovnoběžné s podložkou (viz. obr. 5-7). Jak již bylo zmíněno v kapitole č. 2.2.4, tryska má průměr 10 mm, tudíž tloušťka každé vrstvy je cca 10 mm a výška cca 4 mm. Boční plocha, která se při tisku dotýká podložky, kvůli tomu postrádá charakteristickou strukturu tiskových linií a je téměř hladká. Kromě této jedné plochy má lavička těsně po vytištění strukturu tiskových linií po celém svém povrchu. Toto by mohl být problém, jelikož je tato struktura velmi výrazná a samotný materiál je poměrně hrubý. Proto jsou všechny plochy, které při sezení přijdou do kontaktu s uživatelem, zbroušeny do hladka. V důsledku broušení jsou na konkrétní ploše jasně viditelná zrna plniva, což tvoří zajímavý prvek designu a dává to uživatelům jistou představu o tom, z čeho je materiál tvořený (viz. obr. 5-8).



**Obr. 5-7** Oba typy laviček v tiskové poloze se zvýrazněným detailem struktury povrchu.



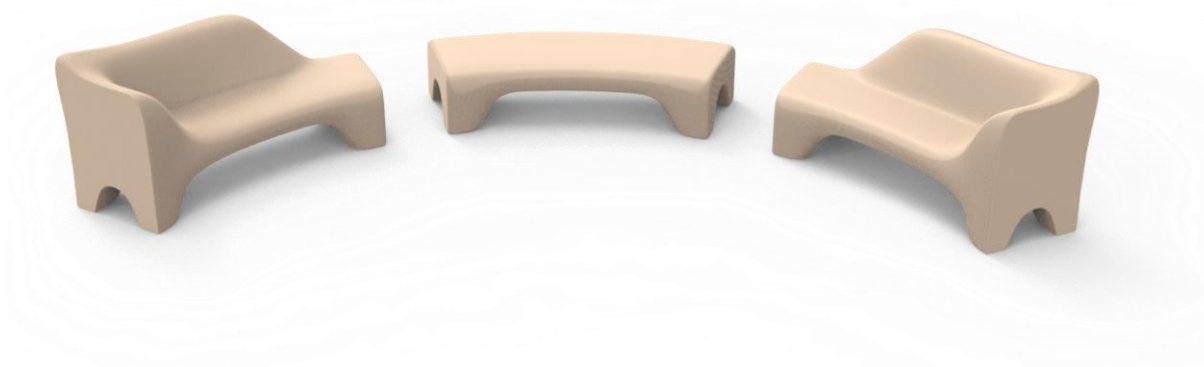
**Obr. 5-8** a) Detailní fotografie nezbrošeného povrchu, b) detailní fotografie zbrošeného povrchu. Foto: Martin Krčma, upraveno.

## 6 KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Sada je určena pro výrobu pomocí robotického 3D tisku z materiálu Polybet. Při procesu navrhování designu byl kladen důraz na vyrobiteľnosť, ergonomii a praktičnosť produktů. Metoda výroby v mnoha směrech ovlivnila výsledný design.

### 6.1 Popis

Set se skládá ze dvou typů laviček (viz. obr. 6-1). Prvním je lavička s opěradlem určená k sezení nebo k ležení a druhým je lavička bez opěradla určená k sezení většího počtu osob. Obě lavičky mají tvar úseku mezikruží a čtyři nožky, které jsou plynule spojeny se sedací plochou. Ze sedací plochy vychází opěradlo, které lze rozdělit na část pro oporu zad při sezení, a na část pro oporu zad a hlavy při ležení. Díky vhodnému uspořádání ploch a využití různých rádií zaoblení hran a rohů působí lavička dynamicky, ale přesto stabilně.

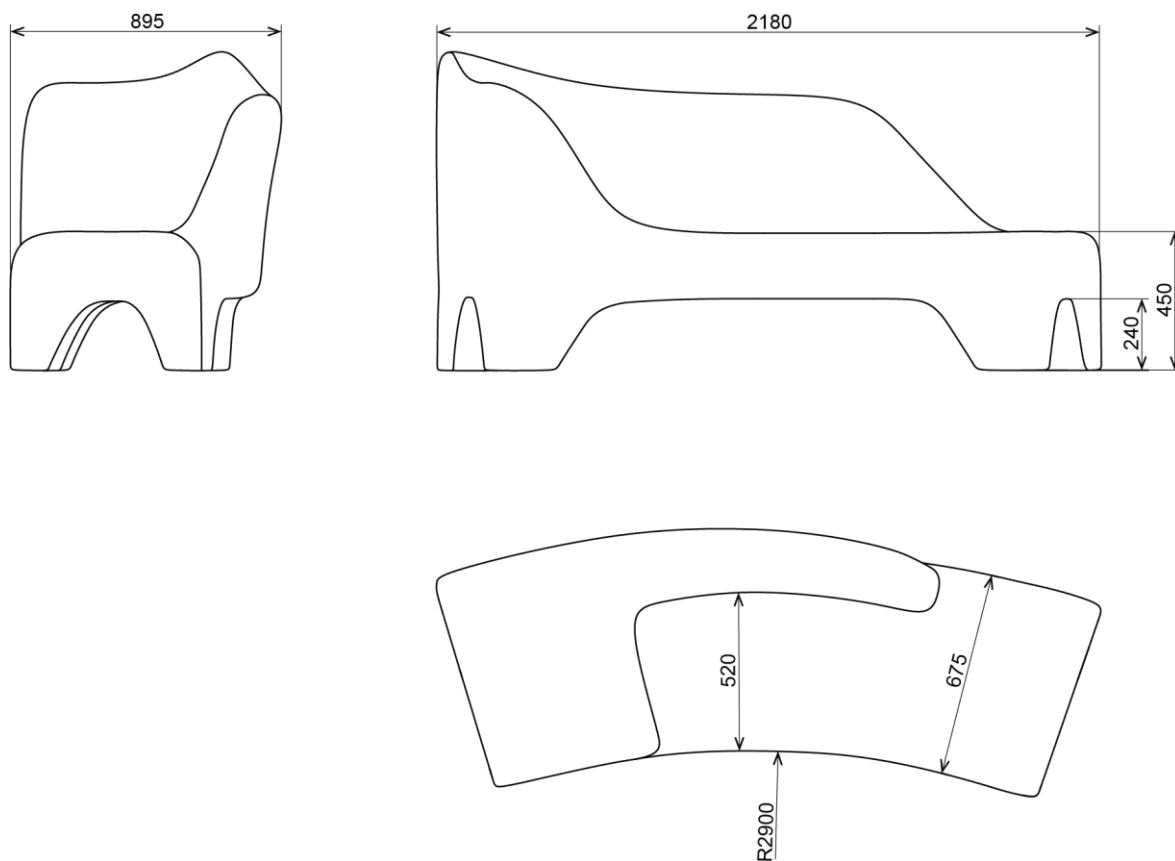


Obr. 6-1 Příklad rozestavení všech tří laviček.

### 6.2 Rozměrové řešení

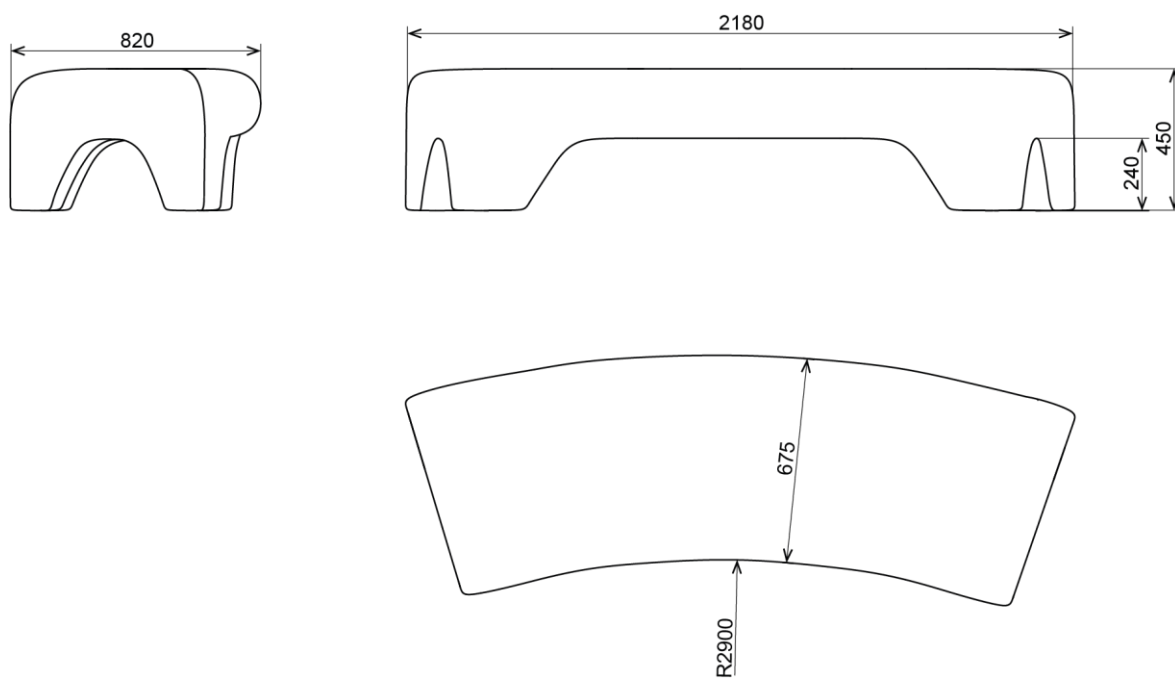
Jak již bylo zmíněno v kapitole č. 2.2.3, rozměry výrobků byly silně ovlivněny manévrovacím prostorem robotického ramene, pomocí kterého bude nábytek vyroben. Zároveň byl kladen důraz na ergonomii při sezení i při ležení a na základě ergonomické studie byly provedeny nutné úpravy (viz. obr. 6-2 a obr. 6-3).

**M 1:25**



**Obr. 6-2** Rozměrové řešení lavičky s opěradlem.

**M 1:25**



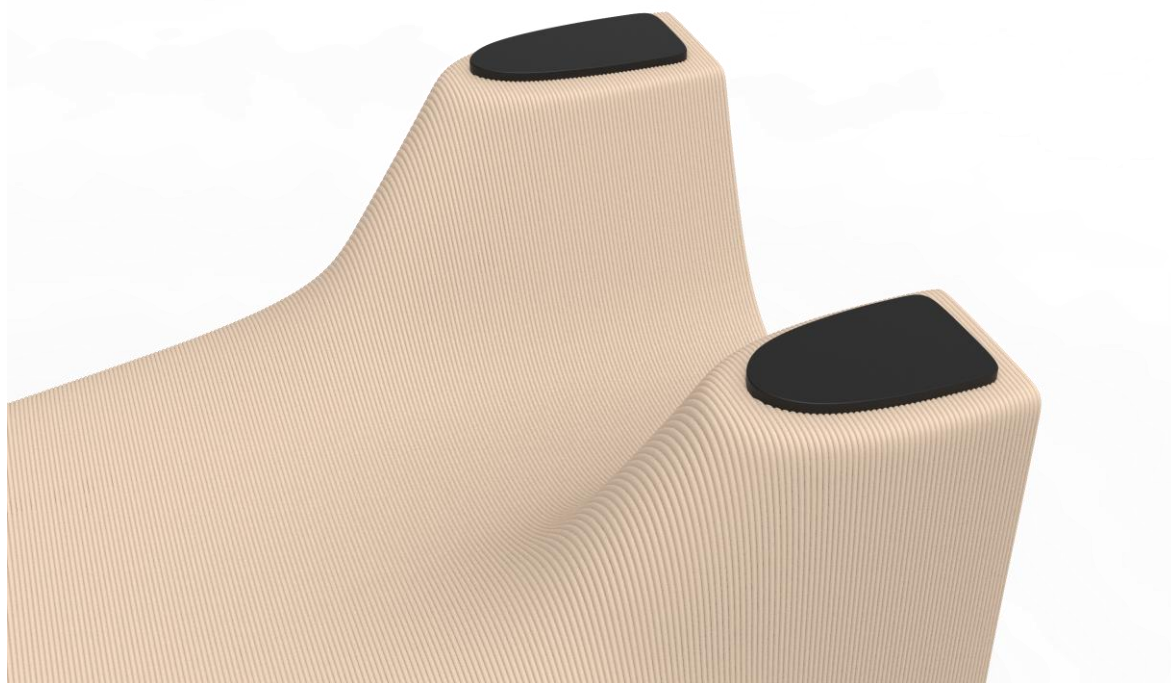
**Obr. 6-3** Rozměrové řešení lavičky bez opěradla.



### 6.3 Vnitřní mechanismy a komponenty

Nábytek může být podle potřeby osazený na spodní straně každé nohy dalšími přídavnými nožičkami, nebo jiným tlumivým materiálem. Podle konkrétního umístění nábytku na specifickém podkladu může být použitý například protiskluzový materiál, nebo ochranný materiál, jak za účelem ochrany podkladu, tak za účelem ochrany nábytku.

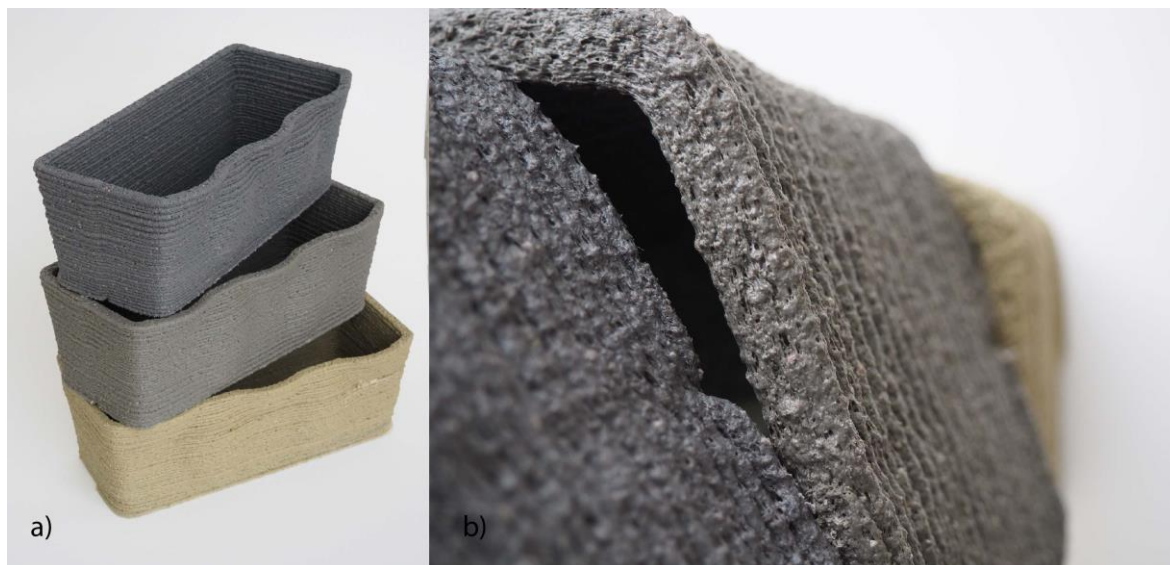
Ideálním materiálem s protiskluzovými vlastnostmi, který může zároveň sloužit jako ochrana podlahy i nábytku je guma. Mezi její další výhody patří například nízká cena, snadná vyrobitelnost, nebo více barevných možností. Z gumy o tloušťce 10 mm je vyříznutý tvar o něco menší, než je spodní plocha nožiček. Tyto kusy jsou následně nalepeny přímo na nožičky lavičky, což zabraňuje jejich pohybu či odlupování. Kusy jsou záměrně o trochu zmenšené oproti ploše, na kterou budou nalepeny, aby nebyly při běžném používání lavičky viditelné. Zároveň ale mají stále dostatečnou plochu, aby negativně neovlivnily stabilitu laviček (viz. obr. 6-4).



**Obr. 6-4** Detailní pohled na spodní stranu nožiček s gumovými protiskluzovými podložkami.

## 6.4 Materiálové řešení

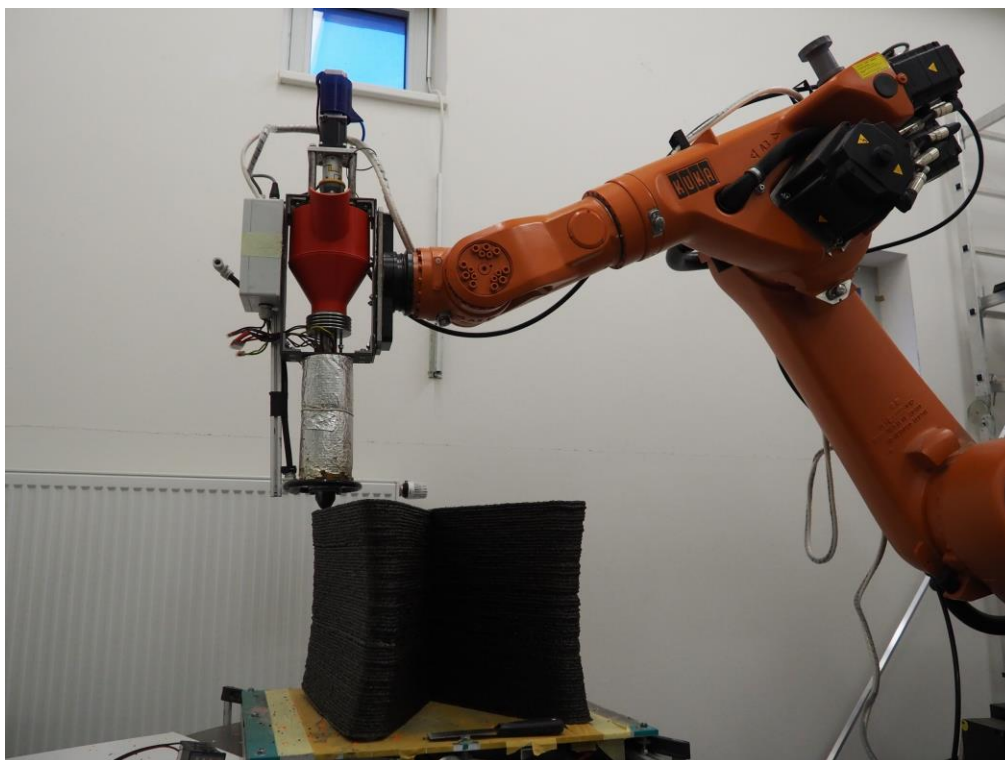
Jak již bylo zmíněno v mnoha předešlých kapitolách, tento projekt se přímo odvíjí od využití zadaného materiálu a žádný jiný materiál zde není použitý. Tímto materiálem je Polybet (viz. obr. 6-5). Jedná se o materiál vytvořený z odpadních termoplastů použitých jako pojivo a z písku, drceného skla apod. použitých jako plnivo. Polybet má velmi dobré vlastnosti, kterými jsou například vysoká pevnost při nízké váze a odolnost vůči vlivům počasí, jako jsou vysoké i nízké teploty, přímé sluneční záření nebo déšť. Díky tomu se výborně hodí i na výrobu venkovního nábytku.



**Obr. 6-5** a) Pohled z dálky na květináče vyrobené z Polybetu v různých odstínech hnědé, b) detailní pohled na květináče s viditelnou strukturou materiálu. Foto: Martin Krčma, upraveno.

## 6.5 Technologie

Technologie výroby byla zmíněna již v předešlých kapitolách. Nábytek je určený k výrobě pomocí robotického 3D tisku. V praxi bude použito robotické rameno KUKA 60HA, jež se nachází na FSI VUT (viz kapitola 2.2.2), které nese šnekový extrudér s průměrem trysky 10 mm (viz kapitola 2.2.3) (viz. obr. 6-6). Rameno má pouze omezený manévrovací prostor, který má tvar prostoru mezi dvěma segmenty koule a jeho velikost se odvíjí od velikosti ramene. Aby byl produkt vyrobitelný, nesmí přesáhnout hranice tohoto manévrovacího prostoru a od toho se odvíjí jeho maximální rozměry i tvar.



**Obr. 6-6** Fotografie Robotického ramene KUKA na FSI VUT tisknoucího výrobek z Polybetu. Foto: Martin Krčma.

V tiskové pozici mají obě lavičky s na výšku stejný rozměr 210 cm. Vzhledem k velikosti použitého ramene se jedná o mezní rozměr a nábytek je vyrobitelný jen díky správnému umístění a natočení při tisku a díky tomu, že robotické rameno není umístěno přímo na zemi, ale spočívá na vyvýšeném stupínku. Naopak tisknutý kus nábytku musí být umístěn přímo na podlaze a musí být natočený tak, aby se ohnutím přibližoval k rameni. (viz. obr. 6-7)



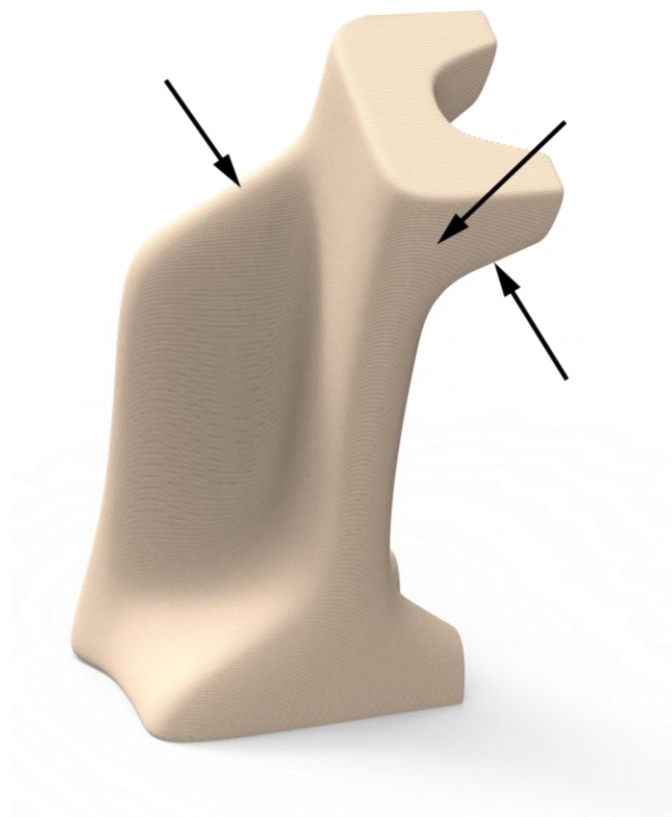
**Obr. 6-7** Snímek simulace tisku v nejvyšším bodě lavičky s viditelným správným natočením lavičky. Obr.: Martin Krčma.

Samotná technologie 3D tisku má určitá omezení, kterým bylo při navrhování designu třeba věnovat pozornost. Jedním z nich, které výrazně ovlivnilo konečný design, je například problematika velkých převisů.

S omezenou vzdáleností převisu byl z důvodu zahnutí lavičky velký problém v přední části lavičky, která je při tisku nahoře (viz. obr. 6-8). Poloměr zahnutí lavičky byl příliš malý a materiál postupoval do strany pod příliš ostrým úhlem. Nakonec byl problém vyřešen výrazným zvětšením poloměru ohybu lavičky, čímž byl zmenšen tento úhel.

Další podobný problém nastal u nožek na straně bez opěradla, které jsou během tisku „ve vzduchu“ (viz. obr. 6-8). Původně byly nožky napojeny na spodní stranu sedáku pod úhlem cca 100°, což se ukázalo jako nedostatečné a tento úhel musel být výrazně zvětšen, aby došlo ke zmenšení převisu u jednotlivých vrstev. Nožky díky tomu navazují na sedák plynule, což má pozitivní vliv i na estetiku nábytku. Zvětšení úhlu samo o sobě stále nezaručovalo bezchybný tisk, proto musela být dodatečně snížena spodní strana sedáku, aby se tak nožky zkrátily, ale při tom je pod lavičkou stále dost místa na nohy.

S převisem byl ze začátku také problém na boční hraně opěradla, která se svažovala k sedáku pod příliš malým úhlem (viz. obr. 6-8). Problém byl opět vyřešen zvětšením tohoto úhlu, což mělo ve výsledku pozitivní vliv na estetiku a výrazně to dodalo dynamiku celému designu.



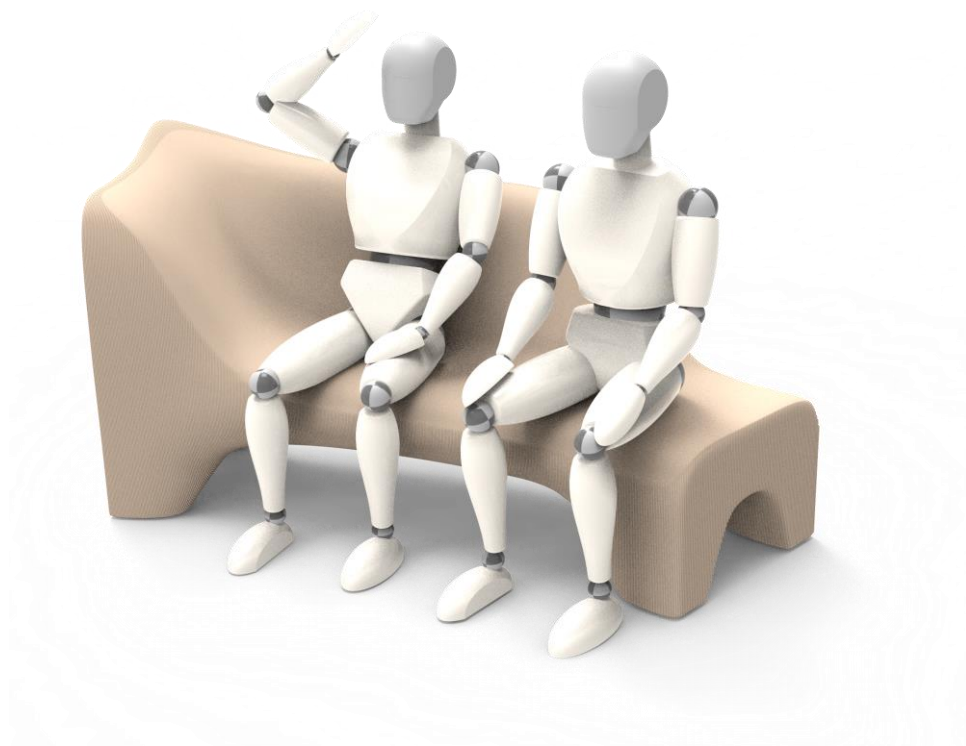
**Obr. 6-8** Lavička s opěradlem v tiskové poloze s šipkami upozorňujícími na problematická místa z hlediska převisů.

## 6.6 Ergonomie

Pro ověření všech ergonomických aspektů nábytku byla v několika fázích návrhu designu provedena důkladná ergonomická studie v různých polohách sedu i lehu. Informace získané z těchto studií byly zpracovány a design byl vždy patřičně přizpůsoben.

### 6.6.1 Ergonomie lavičky s opěradlem

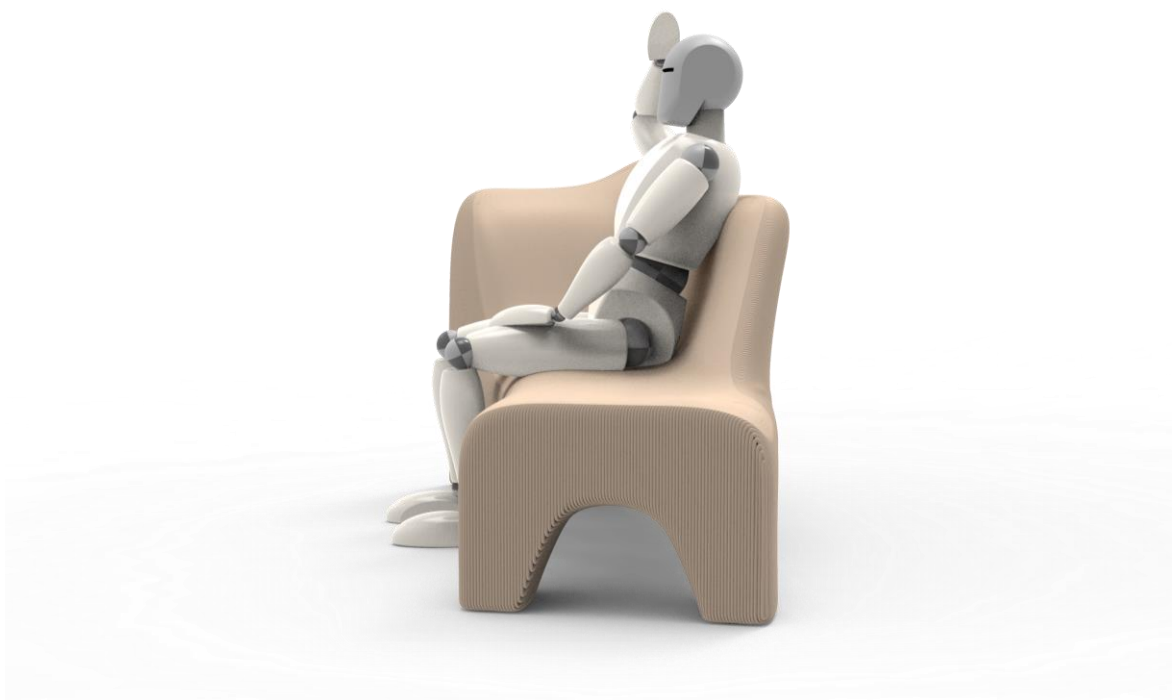
Výška sedáku od země je 45 cm, což zaručuje pohodlí jak lidem nižšího, tak i lidem vyššího vzrůstu a hloubka sedáku v místech s opěradlem je 50 cm. Celý sedák se mírně svažuje směrem k opěradlu, což je výhodné při sezení, ale hlavně při ležení, protože je tak přirozeně bráněno spadnutí člověka z lavičky, i když je na ležení poměrně úzká. Na lavičku se v sedě vejdou pohodlně 2 lidé (viz. obr. 6-9). Všechny hrany sedáku jsou výrazně zaobleny, čímž je zabráněno otlakům na kůži po delší době strávené sezením.



**Obr. 6-9** Dva lidé sedící na lavičce s opěradlem.

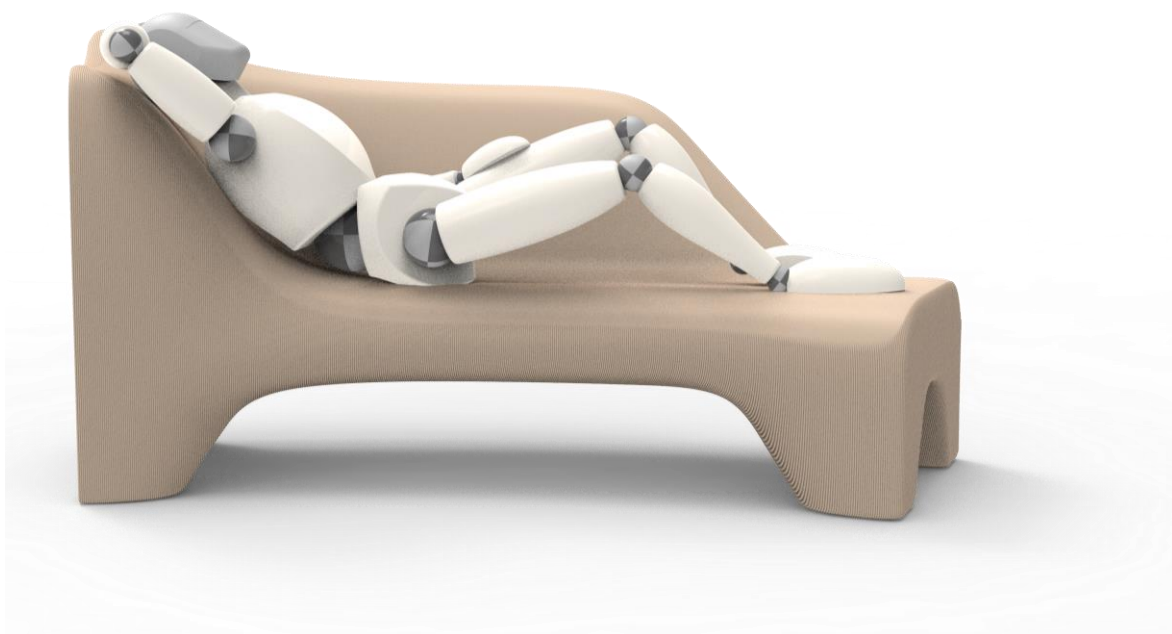
Část opěradla, která je určena k opoře zad při sezení je celá ergonomicky tvarovaná, aby ideálně podepřela záda v místě beder a lopatek. Celkově je tato část mírně nakloněná dozadu, čímž je podpořena relaxační poloha (viz. obr. 6-10).





**Obr. 6-10** Boční pohled na člověka sedícího na lavičce s opěradlem.

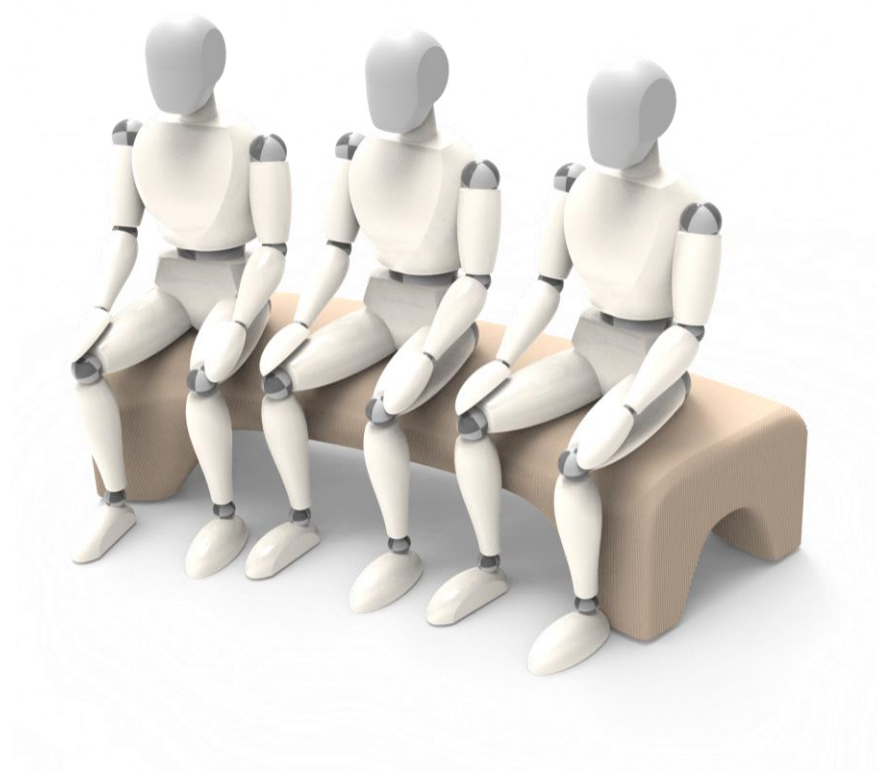
Část opěradla určená k opoře zad a hlavy v poloze lehu je taktéž ergonomicky tvarovaná. Po provedení ergonomické studie se ukázalo jako nevhodné, aby se celá plocha opěradla svažovala směrem dopředu, protože by v tomto případě opřená hlava vždy padala na stranu. Z tohoto důvodu je i na této části zopakován princip ze zadní části opěradla, a tak vzniká rovná plocha, která uživateli poskytuje oporu hlavy po delší dobu, aniž by musel vyvíjet úsilí udržet hlavu na místě (viz. obr. 6-11).



**Obr. 6-11** Boční pohled na člověka ležícího na lavičce s opěradlem.

### 6.6.2 Ergonomie lavičky bez opěradla

Výška sedáku od země je 45 cm, což je vhodné pro osoby nižšího i vyššího vzrůstu. Hloubka sedáku je 67 cm a délka sedáku (tedy celé lavičky) je v nejširším místě 218 cm. Na lavičce mohou pohodlně sedět 3 lidé čelem v různých směrech (viz. obr. 6-12), nebo zde může ležet jeden člověk hlavou buď na jednu, nebo na druhou stranu. Sedák má uprostřed velmi jemnou prohlubeň, což je příjemné jak při sezení, tak při ležení. Při ležení to navíc zmenšuje nebezpečí pádu z lavičky. Na okrajích lavičky už tato deformace není, aby byla zajištěna plynulá návaznost při postavení více kusů nábytku vedle sebe.



**Obr. 6-12** Tři osoby sedící na lavičce bez opěradla.

## 6.7 Bezpečnost a hygiena

Nábytek má organické tvarování s výrazným zaoblením všech hran a rohů, tudíž nepředstavuje velké nebezpečí pro malé děti. Nikde se nevyskytuje žádný úzký prostor, kde by se uživatel mohla zaseknout ruka nebo noha. Lavička je dostatečně stabilní, aby nehrozilo její převrnutí.

Materiál je velmi dobře soudržný a neopadávají z něj žádné malé ani velké částice. Nábytek je plně omyvatelný, například zahradní hadicí. Jelikož je sedací plocha zbroušena do hladka, v případě znečištění ji lze snadno vyčistit. Čištění ostatních částí je již složitější kvůli hrubé struktuře povrchu ve tvaru tiskových linií.

## 6.8 Udržitelnost

Recyklace odpadních látek zmírňuje jejich dopad na životní prostředí. Díky moderním technologiím je možné dokonce zlepšit jejich vlastnosti, a tak prodloužit dobu, po kterou mohou být využívány, než bude nutná jejich likvidace, která je často problematická a neekologická.

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, k výrobě nábytku je využitý pouze jediný materiál (s výjimkou přídatných gumových protiskluzových podložek). Tímto materiálem je Polybet, který v sobě kombinuje pojivo v podobě recyklovaných termoplastů a plnivo v podobě písku, drceného skla, nebo jiných odpadních látek. Výsledný materiál má vysokou odolnost vůči vlivům počasí i vysokou pevnost, proto jde o velmi trvalý produkt. Z těchto důvodů se jedná o udržitelný design.



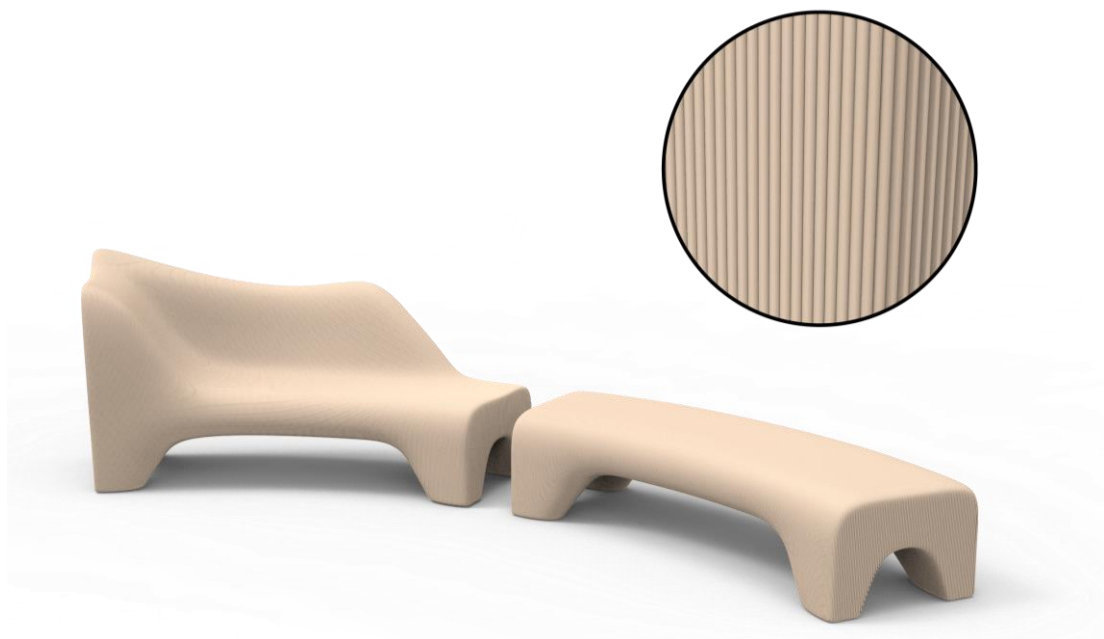
## 7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

Vzhledem k technologii výroby musí být produkt jednobarevný a kvůli vlastnostem materiálu je nutné, aby šlo o sytý odstín, jinak je velká škála barev, které se dají pro produkt využít.

Jelikož jde o venkovní nábytek, předpokládá se, že přijde do kontaktu s různými druhy znečištění. Nábytek má na většině svého povrchu hrubou strukturu odvíjející se od tiskových linií a od samotné struktury materiálu. Nedá se nijak zabránit hromadění prachu a jiných částic v této struktuře, proto se doporučuje volit spíše tmavší odstíny, na kterých špína nebude tolik patrná, nebo lze nábytek jednou začas umýt například zahradní hadicí. Volba černé barvy by také nebyla správná, jelikož je nábytek určený do exteriéru a na slunci by se příliš ohříval.

### 7.1 Barevná varianta 1

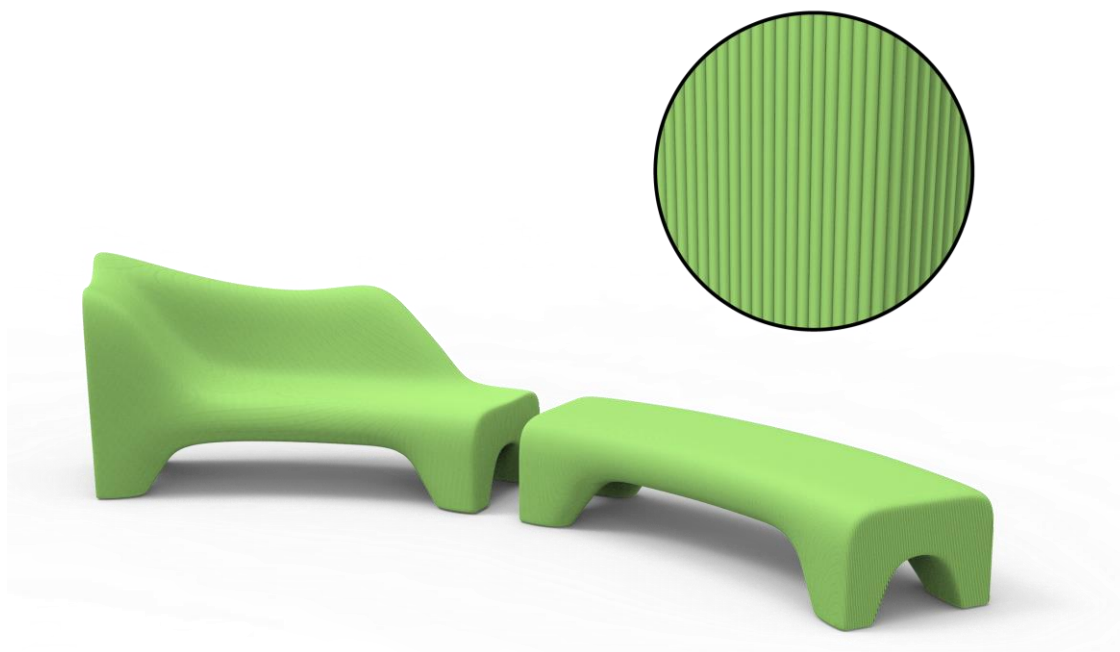
Jako první varianta byla zvolena světle béžová barva (viz. obr. 7-1). Konkrétní odstín podle vzorníku RAL je 1015. Tato barva je neutrální a dá se dobře ladit i s jinými materiály, jako je například dřevo nebo kachle. V exteriéru na sebe nábytek nebude poutat přílišnou pozornost, ale hezky zapadne do prostředí jako jeho součást. Jemné nečistoty jako například prach nebudou tolik viditelné, jako by byly u čistě bílé barvy.



**Obr. 7-1** Barevná varianta 1 - světle hnědá s detailem s viditelnými tiskovými liniemi.

## 7.2 Barevná varianta 2

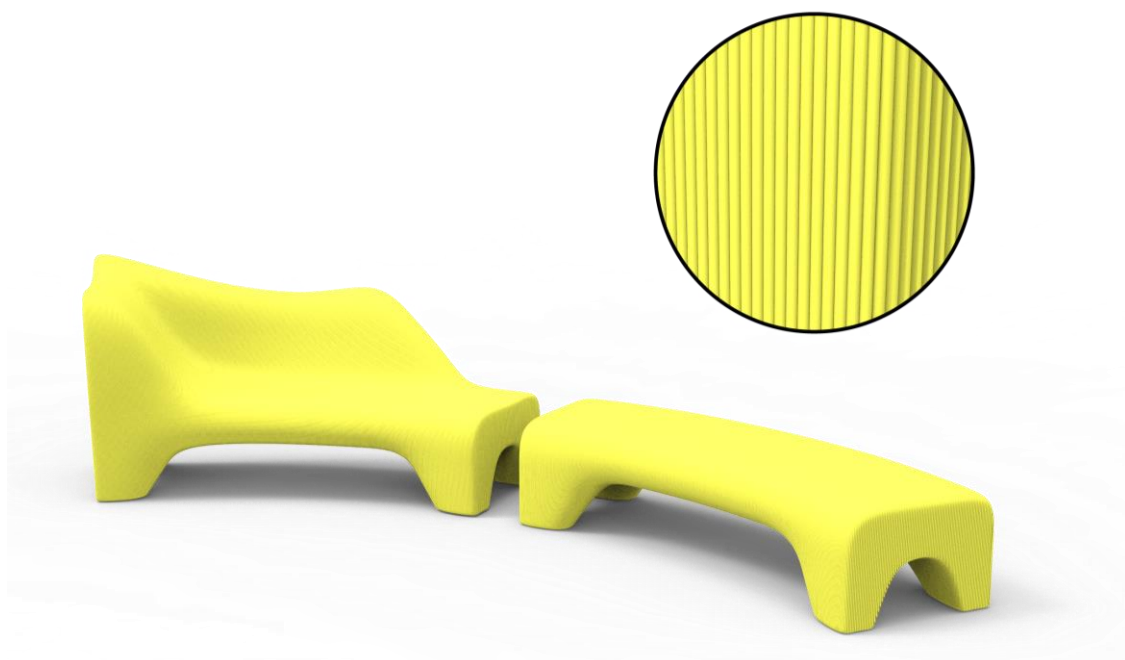
Jako druhá varianta byla zvolena světle zelená barva (viz. obr. 7-2). Konkrétní odstín podle vzorníku RAL je 6018. Použitý odstín není příliš křiklavý a nábytek hezky zapadne do přírodního prostředí, například na travnatém podkladu. Dá se dobře kombinovat s kovovým nábytkem stříbrné barvy. Nečistoty na tomto podkladu nebudou tolik viditelné.



**Obr. 7-2** Barevná varianta 2 - světle zelená s detailem s viditelnými tiskovými liniemi.

## 7.3 Barevná varianta 3

Jako třetí varianta byla zvolena světle žlutá barva, která na sebe poutá pozornost (viz. obr. 7-3). Konkrétní odstín podle vzorníku RAL je 1016. Nábytek se stane dominantním prvkem exteriéru. Hodí se na slunná místa a dá se dobře kombinovat s mnoha materiály (například dřevo, kov nebo kachle). Vyzařuje pozitivní energii a zaujme dospělé osoby, ale hlavně děti. Špína bude trochu více viditelná, ale vzhledem k materiálu není problém nábytek kdykoliv umýt například zahradní hadicí.



**Obr. 7-3** Barevná varianta 3 - žlutá s detailem s viditelnými tiskovými liniemi.

## 7.4 Logo výrobku

Logo bylo vytvořeno s ohledem na tvarosloví nábytkového setu. Segmenty mají, stejně jako nábytek, tvar úseku mezikruží, liší se ale tím, že jejich konce jsou spolu rovnoběžné a vodorovné. Díky této změně je však logo kompaktní a celkově si zachovává pomyslný tvar obdélníku. Použití jednotlivých segmentů taktéž znázorňuje strukturu linií, která vzniká při výrobě pomocí 3D tisku. Takto se logo odkazuje na použitou technologii výroby, která je stěžejním pilířem designu. Mezi jednotlivými segmenty jsou dvě stejné mezery, které zaručují dobrou čitelnost. Logo má kompaktní tvar vhodný k využití i jako součást logotypu.

Název Strata vychází z latinského slova stratum – vrstva, a naráží na aditivní způsob výroby nábytku pomocí 3D tisku, kdy je konečný produkt tisknut po vrstvách, které jsou poté na povrchu jasně viditelné (viz. obr. 7-4).



**Obr. 7-4** Logotyp Strata.

## 8 DISKUZE

Nábytek má mnoho funkcí. Kromě těch zřejmých, jako například že slouží k sezení, k ležení, nebo jako úložný prostor, to jsou i ty méně očividné, nad kterými běžný uživatel ani nepřemýšlí. Přesto mají tyto další funkce neméně významný vliv na návrh designu.

### 8.1 Psychologická funkce

Z hlediska psychologického působení je významná samotná role nábytku, jakožto prostředku k relaxaci. Je to místo, kde může uživatel příjemně strávit svůj volný čas ať už sám, s rodinou nebo s přáteli. S nábytkem se nepojí žádné nepříjemné činnosti, jako je složitá údržba a čištění. Proto se s užíváním nábytku pojí pouze příjemné pocity.

Dalším významným prvkem, působícím na psychiku člověka je tvarování nábytku. Obě lavičky jsou organicky tvarované, což podporuje pohodlí a relaxaci, ale jsou zde použité i ostřejší hrany a úhly, které dodávají lavičkám dynamický vzhled a sada tak působí moderně a účelně. Lavičky stojí každá na čtyřech širokých nožkách, díky čemuž působí stabilně, a uživatel se nemusí bát pohodlně se posadit nebo si lehnout.

Na to, jak uživatel vnímá nábytek mají také velký vliv barvy. Pro tento set byly vybrány spíše světlé, přírodní odstíny, které podpoří dobrou náladu a příjemný pocit z nábytku, ale přitom nejsou tolik výrazné, aby někoho dráždily. Uživatel také nemusí pociťovat negativní pocity ohledně plýtvání materiálem, jelikož všechny suroviny jsou recyklované.

### 8.2 Sociální funkce

Moderní společnost má mnoho problémů. Jedním z nich je znečištění planety a špatný stav odpadového hospodářství. Všechny materiály použité k výrobě nábytku jsou jen těžko recyklovatelné odpadní látky, které by jinak skončily na skládkách. Tímto způsobem nám mohou sloužit ještě po mnoho let bez nutnosti jejich likvidace. Nábytek tak propaguje ekologické smýšlení a využití moderních technologií, v tomto případě robotický 3D tisk, ke znovuvyužití odpadních materiálů jako jsou PET lahve nebo stavební odpad.

Kromě příznivého dopadu na životní prostředí tvoří kompozice tohoto nábytkového setu ideální místo, kde se mohou lidé setkávat a bavit v přírodě v soukromí vlastní zahrady. Nábytek má tvar části mezikruží, tudíž při kombinaci více kusů tvoří částečný, nebo celý kruh. Toto tvarování a umístění nábytku podporuje konverzaci, jelikož na sebe lidé navzájem dobře vidí. Uprostřed kompozice může být umístěný stůl, nebo například ohniště a může se zde scházet rodina nebo přátelé a podnikat společné aktivity. Nábytek je ale vhodný i pro použití jednotlivcem o samotě, kdy mu poskytuje několik možných poloh při sezení i při ležení, a tak je vhodný pro odpočinek a relaxaci.

### 8.3 Ekonomická funkce

Z ekonomického hlediska je velmi výhodné využití odpadních látek jako materiálu pro výrobu. Suroviny jako odpadní termoplasty, sklo apod. jsou velmi levné, navíc se tako dále zhodnocují a jedná se o tzv. UpCyclink (česky Upcyklaci). Upcyklace znamená *přeměnu starých a nepotřebných produktů, na produkty s vyšší užitnou hodnotou, než jakou měl původní výrobek*. [17]

Aproximativní cena produktu se odvíjí od několika faktorů, které jsou například zda se jedná o sériovou či kusovou výrobu, cena materiálu, cena pracovníka, který hlídá stroje při procesu výroby, energie potřebná k výrobě a náklady na opotřebení stroje, náklady na povrchovou úpravu, popřípadě náklady na výrobu nožiček. Pokud uvažujeme sériovou výrobu, minimální náklady na výrobu se pohybují okolo 3 000 Kč. Po připočtení marže nám tedy vychází finální cena za jeden kus okolo 9 000 Kč. Minimálně ze začátku se ale bude jednat spíše o kusovou výrobu, takže cena bude přirozeně vyšší.

Nejde o luxusní design, ale zdaleka také nejde o masovou výrobu. Cena je tedy srovnatelná spíše s ruční výrobou, například jako lavice vyrobená na míru u truhláře.

## 9 ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce byl navržen design setu venkovního nábytku určený k výrobě pomocí robotického 3D tisku z materiálu Polybet. Po průzkumu současného trhu a provedení designérské a technické analýzy bylo rozhodnuto, že v práci půjde o zahradní nábytek určený soukromým osobám. Všechny informace vyplývající z analýz byly zpracovány a na jejich základě byly navrženy první verze nábytku.

Po pečlivé úvaze a po provedení ergonomické studie byla vybrána finální varianta, která byla dále rozvíjena. Byly zde zohledněny všechny problémy vyplývající z ergonomické studie a nábytek byl podle toho upraven, aby byl maximálně pohodlný pro co největší spektrum uživatelů. Dále byl navržen druhý kus setu založený na stejných tvarech a principech, jako první kus tak, aby spolu ideálně ladily.

Z ergonomického hlediska je důležitá i úprava povrchu. Jelikož je povrch nábytku ihned po vytištění velmi hrubý vlivem výrazných tiskových linií i samotné struktury materiálu, bylo rozhodnuto, že všechny funkční plochy nábytku, které při sezení přijdou do kontaktu s lidským tělem budou zbrušeny téměř do hladka, aby nedocházelo k podráždění pokožky a nepříjemným pocitům při delším sezení.

Dalším aspektem ergonomie je dobře zvolené barevné řešení. Barvy musí být dostatečně syté, kvůli vlastnostem materiálu, ale vzhledem k umístění nábytku v přírodě a jeho funkci jako prostředku k relaxaci, nesmí být zvolené odstíny ani příliš výrazné a pestré. Proto byly zvoleny spíše světlé odstíny přirozených barev, které nebudou příliš výrazné, ale přesto budou navozovat příjemný pocit.

Cíle bakalářské práce byly splněny ve vysoké míře. Set se skládá ze dvou tvarově rozdílných typů laviček, přičemž lavičku s opěradlem je možné využít jako dva zrcadlově obrácené kusy. Obě lavičky jsou bez problému vyrobitelné aditivní metodou pomocí robotického ramene KUKA 60HA umístěného na FSI VUT z materiálu Polybet. Na základě provedených ergonomických studií je usuzováno, že oba kusy splňují základní ergonomické požadavky a zároveň působí moderně a dynamicky.

Pokud by byl projekt dále rozvíjen, bylo by vhodné navrhnout další součásti setu, například stoličku a stolek, aby byl set úplný. Také by bylo vhodné ověřit vyrobitelnost a ergonomičnost vyrobením modelů ideálně v reálné velikosti, nebo alespoň v menším měřítku, což za nynějších podmínek elektronické výuky nebylo možné uskutečnit.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. COUPEK, Daniel, Jens FRIEDRICH, David BATTRAN a Oliver RIEDEL. Reduction of Support Structures and Building Time by Optimized Path Planning Algorithms in Multi-axis Additive Manufacturing. In: *Procedia CIRP*. 2018. ISSN 2212-8271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2017.12.203
2. KOČAŘ, Jiří. Konstrukce extrudéru pro aditivní výrobu vysoce plněných termoplastů. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117707>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce David Škaroupka.
3. Woven Concrete furniture in Tokyo. *XtreeE: The large-scale 3d* [online]. Paříž, Francie: XtreeE, 1. 5. 2017 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://xtreee.com/en/project/woven-concrete-benches/>
4. Cirratus Vase in London. *XtreeE: The large-scale 3d* [online]. Paříž, Francie: XtreeE, 1. 11. 2016 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://xtreee.com/en/project/cirratus/>
5. Concreative setzt in Dubai auf 3D-Druck mit Beton. *3DRUCK: The independent am magazine* [online]. 27 Jun 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://3druck.com/industrie/concreative-setzt-in-dubai-auf-3d-druck-mit-beton-2983200/>
6. Private Commission. *Philipp Aduatz* [online]. Vídeň, Rakousko: Philipp Aduatz [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://www.philippaduatx.com/portfolio-item/private-commission/>
7. Pots Plus. *The New Raw* [online]. Rotterdam, Nizozemsko: The New Raw, 2018 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://thenewraw.org/Pots-Plus>
8. Avens Chaise. *Model No* [online]. Oakland, CA, USA: Model No., c2021 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://model-no.com/221-avens-medium-chaise-lounge/>
9. 3D Printed Furniture by Cucune for Ai Build. *Prodeez* [online]. Prodeez, 23 April 2018 [cit. 2021-4-4]. Dostupné z: <https://www.prodeez.com/post/2018/04/23/3d-printed-furniture-by-cucune-for-ai-build>
10. Second Nature — Table. *The New Raw* [online]. Rotterdam, Nizozemsko: The New Raw, 2020 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://thenewraw.org/Second-nature-Table>
11. Supermod. *Arch2o* [online]. Arch2o, c2012-2020 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://www.arch2o.com/supermod-simplus-design/>

12. Bow. *Dezeen* [online]. Londýn, GB: Marcus Fairs, 26 March 2018 [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2018/03/26/nagamis-first-furniture-collection-features-3d-printed-chairs-by-zaha-hadid-architects/>
13. Technologie pro materiálové využití odpadních plastů - Polybet. *VIA ALTA* [online]. Okříšky, Česká republika: VIA ALTA, c2016 [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://www.via-alta.cz/polybet/>
14. 3D tisk: jak funguje, kde stáhnout předlohy a jak začít? *Alza.cz* [online]. Praha, Česká Republika: Alza.cz, c1994-2021, 1. června 2020 [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/3d-tisk>
15. 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+. *Prusa Research* [online]. Praha, Česká Republika: Prusa Research, c2021 [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/181-3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s.html#>
16. Original Prusa SL1 3D tiskárna. *Prusa Research* [online]. Praha: Prusa Research, c2021 [cit. 2021-3-22]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/717-original-prusa-sl1-3d-tiskarna.html>
17. Co je to upcyclace? *UpCycling.cz* [online]. Hať, Česká Republika: Jiří Aujezdský, c2016-2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.upcycling.cz/co-je-to-upcyclace/>
18. How to Design Parts for FDM 3D Printing. *All3DP* [online]. Mnichov, Německo: All3DP [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/how-to-design-parts-for-fdm-3d-printing/>



# 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

## 11.1 Použité zkratky

3D	Three dimensional
FFF	Fused Filament Fabrication
FDM	Fused Deposition Modeling
SLA	Stereolitography
FSI	Fakulta strojního inženýrství
VUT	Vysoké učení technické
PET	Polyethylentereftalát

## 11.2 Použité veličiny

m	metr
mm	milimetr
cm	centimetr
$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	metr za sekundu
$\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$	kilogram na metr
$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	kilogram na metr krychlový
MPa	megapascal
Kč	Koruna česká

## 11.3 Použité symboly

°	stupeň
%	procento

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

<b>Obr. 2-1</b>	Předmět z Polybetu vyrobený pomocí 3D tisku s viditelnou strukturou povrchu.....	16
<b>Obr. 2-2</b>	Lavička bez opěradla s detailem na zbroušenou plochu sedáku. ....	17
<b>Obr. 2-3</b>	Wowen concrete furniture. [3] .....	18
<b>Obr. 2-4</b>	Cirratus Vase. [5] .....	19
<b>Obr. 2-5</b>	Private Comission. [6] .....	20
<b>Obr. 2-6</b>	a) Pots Plus – Curved zelená barva, b) Pots Plus – Curved hnědá barva. Upraveno [7] .....	21
<b>Obr. 2-7</b>	Pots Plus – Organic. [7] .....	21
<b>Obr. 2-8</b>	Aven Chaice. [8] .....	22
<b>Obr. 2-9</b>	Kolekce Loop. [9] .....	23
<b>Obr. 2-10</b>	Second Nature – Stůl. [10] .....	24
<b>Obr. 2-11</b>	Nábytková stěna Supermod. [11] .....	25
<b>Obr. 2-12</b>	Židle Bow vytvořená týmem Zaha Hadid Architects. [12] .....	26
<b>Obr. 2-13</b>	a) Reálné výrobky z Polybetu vyrobené pomocí 3D tisku v různých barevných odstínech b) výrobek z Polybetu vyrobený pomocí 3D tisku se zbroušeným povrchem. Foto: Martin Krčma, upraveno. ....	28
<b>Obr. 2-14</b>	FDM 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+. [15] .....	29
<b>Obr. 2-15</b>	SLA 3D tiskárna Original Prusa SL1. [16] .....	30
<b>Obr. 2-16</b>	Manévrovací prostor robota KUKA 60HA. [2] .....	31
<b>Obr. 2-17</b>	Schéma šnekového extrudéru. [2] .....	32
<b>Obr. 4-1</b>	Varianta1.....	37
<b>Obr. 4-2</b>	Varianta 2.....	38
<b>Obr. 4-3</b>	Varianta 3.....	39
<b>Obr. 5-1</b>	Členění navržené lavičky. ....	41
<b>Obr. 5-2</b>	Vrchní pohled na lavičku s vodícími čarami. ....	42
<b>Obr. 5-3</b>	Pohled na lavičku s opěradlem ze spodu. ....	43
<b>Obr. 5-4</b>	Lavička s opěradlem a lavička bez opěradla navazující těsně na sebe. ....	43

<b>Obr. 5-5</b>	Člověk ležící na lavičce s opřenými zády a hlavou. ....	44
<b>Obr. 5-6</b>	Člověk sedící na lavičce bez opěradla. ....	45
<b>Obr. 5-7</b>	Oba typy laviček v tiskové poloze se zvýrazněným detailem struktury povrchu. ....	46
<b>Obr. 5-8</b>	a) Detailní fotografie nezbrošeného povrchu, b) detailní fotografie zbrošeného povrchu. Foto: Martin Krčma, upraveno. ....	46
<b>Obr. 6-1</b>	Příklad rozestavení všech tří laviček. ....	47
<b>Obr. 6-2</b>	Rozměrové řešení lavičky s opěradlem. ....	48
<b>Obr. 6-3</b>	Rozměrové řešení lavičky bez opěradla. ....	48
<b>Obr. 6-4</b>	Detailní pohled na spodní stranu nožiček s gumovými protiskluzovými podložkami. ....	49
<b>Obr. 6-5</b>	a) Pohled z dálky na květináče vyrobené z Polybetu v různých odstínech hnědé, b) detailní pohled na květináče s viditelnou strukturou materiálu. Foto: Martin Krčma, upraveno. ....	50
<b>Obr. 6-6</b>	Fotografie Robotického ramene KUKA na FSI VUT tisknoucího výrobek z Polybetu. Foto: Martin Krčma. ....	51
<b>Obr. 6-7</b>	Snímek simulace tisku v nejvyšším bodě lavičky s viditelným správným natočením lavičky. Obr.: Martin Krčma. ....	51
<b>Obr. 6-8</b>	Lavička s opěradlem v tiskové poloze s šipkami upozorňujícími na problematická místa z hlediska převisů. ....	52
<b>Obr. 6-9</b>	Dva lidé sedící na lavičce s opěradlem. ....	53
<b>Obr. 6-10</b>	Boční pohled na člověka sedícího na lavičce s opěradlem. ....	54
<b>Obr. 6-11</b>	Boční pohled na člověka ležícího na lavičce s opěradlem. ....	54
<b>Obr. 6-12</b>	Tři osoby sedící na lavičce bez opěradla. ....	55
<b>Obr. 7-1</b>	Barevná varianta 1 - světle hnědá s detailem s viditelnými tiskovými liniemi. ....	57
<b>Obr. 7-2</b>	Barevná varianta 2 - světle zelená s detailem s viditelnými tiskovými liniemi. ....	58
<b>Obr. 7-3</b>	Barevná varianta 3 - žlutá s detailem s viditelnými tiskovými liniemi. ....	59
<b>Obr. 7-4</b>	Logotyp Strata. ....	59

## 13 SEZNAM TABULEK

<b>Tab 2-1</b> Porovnání fyzikálních vlastností materiálu Polybet a konvenčního betonu, upraveno [13].....	27
---	----

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

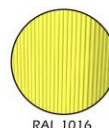
Sumarizační poster (A1)

Zmenšený poster (A4)

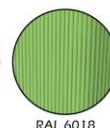
# ZMENŠENÝ PLAKÁT



Jedná se o set zahradního nábytku vyrobený pomocí robotického 3D tisku. K výrobě je použitý materiál Polybet, který je tvořený pojivem z recyklovaných termoplastů a plnivem z drceného kameniva nebo písku. Jelikož má materiál poměrně hrubou strukturu a celý povrch lavičky pokrývají tiskové linie, všechny plochy, které při sezení přijdou do kontaktu s člověkem jsou zbrušeny do hladka.



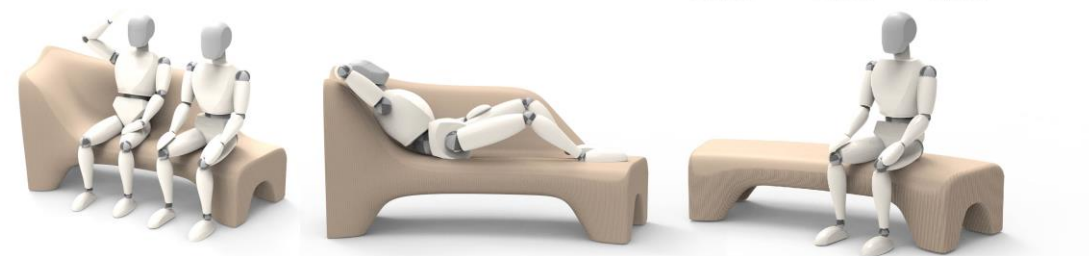
RAL 1016



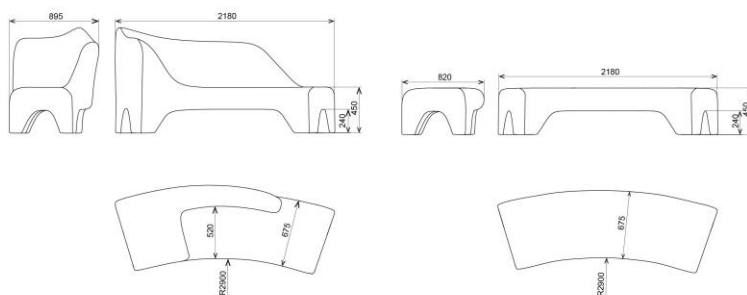
RAL 6018



RAL 1015



M1:20



Tiskové pracoviště

DESIGN VENKOVNÍHO NÁBYTKU Z POLYMERŇHO BETONU / BAKALÁŘSKÁ PRÁCE / Autor: Alena Petlachová / Vedoucí práce: Ing. Martin Krčma / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2020/21



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ  
FAKULTA STROJNÍHO  
V BRNĚ



ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ



odbor  
průmyslového  
designu